

Lingkungan dan Kenyamanan Termal Dalam Bangunan di Iklim Tropis Panas dan Lembab: Studi Literatur Sistematis

Muhammad Awaluddin Hamdy¹, Baharuddin Hamzah², Ria Wikantari², Rosady Mulyadi²

¹ Program Doktor Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

², Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jalan Poros Malino Km.6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

Email Korespondensi: awaluddin.hamdy@universitasbosowa.ac.id

Masuk: 16 Oktober 2021

Direvisi: 21 Oktober 2023

Disetujui: 07 November 2021

ABSTRAK

Tujuan penelitian studi literatur sistematis (SLS) ini merinci dan menyimpulkan sumber-sumber literatur secara sistematis dengan maksud memberi manfaat, batasan, celah penelitian, dan wilayah penelitian baru yang menarik untuk diteliti. Studi literatur sistematis terhadap kenyamanan termal dalam kaitannya dengan bangunan dapat didefinisikan sebagai suatu keadaan dimana dapat memberikan perasaan nyaman dan menyenangkan bagi penghuninya. Kenyamanan termal merupakan suatu keadaan yang berhubungan dengan alam yang dapat mempengaruhi manusia dan dapat dikendalikan oleh arsitektur. Manusia dikatakan nyaman secara termal ketika ia tidak merasa perlu untuk meningkatkan ataupun menurunkan suhu dalam ruangan. Prinsip dari kenyamanan termal sendiri yaitu terciptanya keseimbangan antara suhu tubuh manusia dengan suhu tubuh sekitarnya. Adapun jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kepustakaan atau library research dengan menelaah beberapa jurnal terkait variabel kenyamanan termal ruang dan bangunan. Metode yang digunakan dengan tahapan perencanaan, pelaksanaan, dan pelaporan. Hasil dari berbagai telaah literatur ini akan digunakan untuk mengidentifikasi variabel yang secara teoritis telah dibuktikan menentukan kenyamanan termal dari suatu ruang baik dalam iklim makro maupun iklim mikro. Hasil penelitian mengidentifikasi faktor kenyamanan termal serta kualitas lingkungan dalam bangunan mengacu pada tingkat kenyamanan manusia yang dipengaruhi oleh temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin, kualitas udara, intensitas cahaya, kebisingan, pengaturan ruang, jenis pakaian, dan aktivitas/kegiatan. Oleh karena itu menyediakan lingkungan dalam dan luar ruangan yang inspiratif yang memberikan kenyamanan termal dan kualitas lingkungan, dalam konteks penghematan energi dan perubahan iklim, merupakan tantangan di masa mendatang.

Kata Kunci: Kenyamanan, Lingkungan, Termal, Tropis lembab, Studi literature, Sistematis

Environment and Thermal Comfort in Buildings in Hot and Humid Tropical Climates: A Systematic Literature Study

ABSTRACTS

The purpose of this systematic literature study (SLS) research is to detail and summarize literature sources systematically to provide benefits, limitations, research gaps, and interesting new research areas to be studied. A systematic literature study on thermal comfort with buildings can be defined as a condition that can provide a comfortable and pleasant feeling for the occupants. Thermal comfort is a condition related to nature that can affect humans and can be controlled by architecture. Humans are said to be thermally comfortable when they do not feel the need to increase or decrease the temperature in the room. The principle of thermal comfort itself is the creation of a balance between the temperature of the human body and the temperature of the surrounding body. The type of research used is library research by examining several journals related to the thermal comfort variable of space and building. The method used is the planning, conducting, and

reporting stages. The results of the study identify factors of thermal comfort and environmental quality in the building referring to the level of human comfort which is influenced by air temperature, humidity, wind speed, air quality, light intensity, noise, space arrangement, type of clothing, and activities. Therefore, providing an inspiring indoor and outdoor environment that provides thermal comfort and environmental quality, in the context of energy saving and climate change, is a challenge for the future.

Keywords: Comfort, Environment, Thermal, Humid tropical, Literature study, Systematic

1. PENDAHULUAN

Dalam konteks fungsi bangunan, arsitektur adalah suatu wadah atau tempat di mana manusia berkegiatan dan beraktifitas agar kegiatan tersebut dapat dilaksanakan secara nyaman. Dengan kata lain bahwa fungsi utama sebuah bangunan adalah untuk pemenuhan kenyamanan baik fisik maupun psikis bagi pengguna bangunan. Menurut Karyono [1] sebuah karya arsitektur harus memenuhi tiga kriteria yaitu bangunan merupakan produk dari suatu karya seni (*work of art*), bangunan harus memberikan kenyamanan fisik maupun psikis terhadap pengguna atau penghuni, dan bangunan harus hemat dalam penggunaan energi. Kenyamanan fisik terdiri dari kenyamanan ruang, kenyamanan penglihatan/visual, kenyamanan pendengaran/akustik, dan kenyamanan termal Karyono [2]. Kenyamanan termal didefinisikan sebagai perasaan yang berkaitan erat dengan lingkungan termalnya dimana perasaan tersebut menunjukkan suatu lingkungan dengan keadaan mulai dari sangat dingin, dingin, hangat sampai perasaan lingkungan termal yang sangat panas.

Kualitas lingkungan dalam ruangan (*indoor environmental quality*) yang berkaitan dengan kenyamanan manusia atau penghuni di dalam suatu bangunan dapat di tentukan oleh beberapa faktor seperti kondisi termal, kondisi visual pencahayaan, kondisi suara atau akustik, kualitas udara, kelembaban, dan ergonomis ruang. Kondisi tersebut bersifat subjektif tergantung dari kondisi fisik seseorang seperti usia, jenis kelamin, warna kulit dan kemampuan beradaptasi serta kondisi lingkungan. Akan tetapi kenyamanan ini memiliki standar yang sama di setiap tempat yang harus dipenuhi oleh suatu bangunan.

Menurut Nugroho [3] kenyamanan termal adalah suatu kondisi termal yang dirasakan oleh manusia, bukan oleh benda, binatang, dan arsitektur, tetapi dikondisikan oleh lingkungan dan benda-benda disekitar arsitekturnya atau kondisi pikir seseorang yang mengekspresikan kepuasan dirinya terhadap lingkungan termalnya

Kenyamanan termal menurut Szokolay [4] pada *Manual of Tropical Housing and Building* merupakan proses yang melibatkan kondisi baik fisik fisiologis maupun psikologis. Kenyamanan termal adalah hasil pemikiran seseorang yang mengekspresikan mengenai kepuasan dirinya terhadap lingkungan termalnya. ASHRAE (*American Society of Heating Refrigerating Air Conditioning Engineer*) [5] mendefinisikan kenyamanan termal sebagai suatu kondisi dimana ada kepuasan terhadap keadaan termal di sekitarnya. Sedangkan kenyamanan termal menurut Snyder [6] adalah keadaan di mana lingkungan makro yang dapat mempengaruhi manusia. Pernyataan tersebut dapat dinyatakan bahwa kenyamanan termal merupakan definisi empirik yang merupakan sebuah pengalaman terhadap rasa dimana kondisi yang dirasakan dapat berbeda antara satu orang dengan yang lainnya. Dalam menentukan kenyamanan termal suatu tempat, dapat dinyatakan dengan melihat persepsi dominan yang dirasakan oleh sekelompok populasi/sampel pada area tersebut.

Ada tiga hal yang di kemukakan oleh Hoppe [7] terkait dengan pemaknaan sensasi termal yakni (a) Pendekatan *thermophysiological*; (b) Keseimbangan panas, dan (c) Pendekatan psikologis. Kenyamanan termal sebagai proses termofisiologis, bahwa nyaman atau tidaknya lingkungan termal tergantung pada respon termal yang terdapat pada kulit

dan otak, pendekatan keseimbangan panas di rasakan bila aliran panas tubuh manusia seimbang dan temperatur kulit serta tingkat keringat badan pada jarak nyaman, selanjutnya pendekatan psikologis yaitu kondisi pikiran (otak) yang mengekspresikan tingkat kepuasan seseorang terhadap lingkungan termalnya atau kualitas lingkungan dalam bangunan.

Menurut Rilatupa [8] prinsip dari kenyamanan termal sendiri yaitu terciptanya keseimbangan antara suhu tubuh manusia dengan iklim sekitarnya, karena jika suhu tubuh manusia dengan lingkungannya memiliki perbedaan suhu yang signifikan maka akan terjadi ketidaknyamanan yang diwujudkan melalui panas atau dingin yang dialami oleh tubuh sehingga merasa tidak nyaman

Keseimbangan suhu tubuh manusia rata-rata adalah 35°C - 37°C. Faktor-faktor alami yang dirasakan manusia akan merasa nyaman dengan lingkungannya secara sadar ataupun tidak sadar yang disebut daerah nyaman.

Menurut George Lippsmeier [9], daerah iklim tropis lembap berada disekitar khatulistiwa sampai sekitar 15° Lintang Utara dan Selatan. Indonesia berada dalam daerah tropis lembap dengan ciri-ciri sebagai berikut yaitu (a) Kelembapan udara yang tinggi dan temperatur udara yang relatif panas sepanjang tahun. Kelembapan udara rata-rata adalah 80%, akan mencapai maksimum sekitar pukul 06.00 pagi dan minimum pukul 14.00. Kelembapan ini hampir sama untuk dataran rendah, temperatur rata-rata sekitar 32°C. Makin tinggi letak suatu tempat terhadap permukaan laut, maka temperatur udara akan berkurang rata-rata 0,6°C untuk kenaikan 100 m; (b) Curah hujan yang tinggi dengan rata-rata 1500-2500 mm/tahun; (c) Radiasi matahari global horizontal rata-rata harian adalah 400 watt/m², dan tidak banyak berbeda sepanjang tahun, dan (d) Keadaan langit pada umumnya selalu berawan.

Selain itu, berdasarkan standar yang ditetapkan oleh SNI 03-6572 [10] terdapat tingkatan temperatur yang nyaman untuk orang Indonesia terdiri atas tiga bagian yang dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Batas Kenyamanan Termal Menurut SNI 03-6572-2001

Kriteria	Temperature Efektif (TE)	Kelembaban (%)
Sejuk Nyaman	20,50°C - 22,8°C	50%
Ambang Atas	24°C	80%
Nyaman Optimal	22,8°C - 25,8°C	70%
Ambang Atas	28°C	
Hangat Nyaman	25,8°C - 27,1°C	60%
Ambang Atas	31°C	

Sumber: SNI 03-6572-2010

2. METODE PENELITIAN

Adapun jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kepustakaan atau *library research*, yakni penelitian yang dilaksanakan dengan mengumpulkan data-data karya tulis ilmiah berupa jurnal dan artikel. Objek penelitian yang sejenis maupun yang mengarah kepada topik penelitian yang bersifat kepustakaan, atau telaah yang dilaksanakan untuk memecahkan suatu masalah yang pada dasarnya bertumpu pada penelaahan kritis dan mendalam terhadap bahan-bahan pustaka yang relevan. Hasil dari berbagai telaah literatur ini digunakan untuk mengidentifikasi variabel yang secara teoritis telah dibuktikan menentukan kenyamanan termal dari suatu ruang maupun bangunan. Variabel-variabel yang dimaksud adalah variabel yang merupakan elemen iklim ruang dalam yaitu suhu/temperatur udara, radiasi matahari, kelembaban, kecepatan angin atau pergerakan udara, intensitas cahaya, dan faktor individu seseorang seperti jenis pakaian maupun aktivitas yang di lakukan.

Metode penelitian studi literatur sistematis (SLS) dilaksanakan dengan tiga tahapan yaitu perencanaan (*planning*) terhadap pertanyaan penelitian (*research question*), kemudian pencarian (*conducting*) terhadap riset-riset utama melalui pencarian di beberapa pengindeks bereputasi seperti Scopus, SAGE, IEEE *Explore*, *Wiley Online*, *Science Direct*, dan lain-lain, selanjutnya memilah (*reporting*) yang menghasilkan bahan-bahan literatur yang sudah tersistematis dengan baik. Biasanya dari beberapa artikel diolah dan dianalisis dan akhirnya terkumpul artikel utama yang siap dibaca dan dianalisa.

Berdasarkan hal tersebut melalui penelitian ini terkumpul beberapa artikel yang terkait dengan kenyamanan termal pada bangunan, hasil dari telaah literatur melalui perencanaan, pencarian, dan pemilahan. Topik kenyamanan termal dan kualitas lingkungan termal dapat menjadi potensi riset di masa mendatang dengan faktor-faktor yang mempengaruhi berdasarkan kepada iklim makro dan iklim mikro di Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Faktor Kenyamanan Termal Dalam Ruang dan Bangunan

Menurut Parson [11] kondisi kenyamanan termal juga dipengaruhi oleh faktor iklim dan faktor individu. Faktor iklim yang mempengaruhi kondisi termal terdiri dari: suhu udara, suhu radiasi rata-rata, kelembaban udara relatif, dan kecepatan angin serta pergerakan udara di dalam ruang. Sedangkan faktor individu yang menentukan keadaan suhu nyaman adalah jenis aktivitas serta jenis pakaian yang digunakan.

Menurut Lippsmeier [12] kenyamanan termal dapat dipengaruhi oleh radiasi matahari, pantulan dan penyerapan, temperatur, kelembaban udara dan gerakan udara. Faktor kenyamanan termal selain pakaian dan aktifitas manusia dapat direkayasa dengan mendesain bangunan yang lebih baik.

Adapun menurut Latifah et al. [13], pengelolaan kenyamanan termal dari segi arsitektural dapat dilakukan dengan cara memperhatikan desain bangunan yang tepat, desain bukaan, kondisi pengaruh luar/lingkungan sekitar bangunan, dan mengatur radiasi matahari yang datang.

Menurut Setyowati [14] untuk mencapai kenyamanan termal yang di inginkan sebaiknya desain bangunan memperhatikan aspek orientasi bangunan terhadap matahari dan arah angin, dimensi dan bentuk bangunan, tata massa bangunan, material bangunan, hingga struktur dan konstruksi bangunan.

Menurut Talarosha, B [15] Bagaimana usaha mengendalikan faktor-faktor iklim dalam memperoleh kenyamanan termal dalam bangunan. Salah satu yang paling mudah adalah dengan pendekatan mekanis yaitu menggunakan Air Conditioning (AC) tetapi membutuhkan biaya operasional yang tidak sedikit. Pendekatan kedua adalah mengkondisikan lingkungan di dalam bangunan secara alami dengan pendekatan arsitektural.

Salah satu cara untuk menghasilkan penggunaan energi yang efisien dapat dilakukan dengan cara pengelolaan kenyamanan termal yang ramah lingkungan. Chairiyah [16].

Pengkondisian bangunan dan lingkungan secara arsitektural dapat dilakukan dengan mempertimbangkan perletakan bangunan (orientasi bangunan terhadap matahari dan angin), pemanfaatan elemen-elemen arsitektur dan lansekap serta pemakaian material/bahan bangunan yang sesuai dengan karakter iklim tropis panas lembab. Melalui ke-empat hal di atas, temperatur di dalam ruangan dapat diturunkan beberapa derajat tanpa bantuan peralatan mekanis.

Berkenaan dengan hal tersebut di atas, adalah penting dan menarik untuk melakukan studi yang menjawab permasalahan tentang seperti apakah persepsi istilah-istilah kualitas kenyamanan termal dalam kaitannya dengan variabel-variabel iklim ruang. Terlebih lagi secara khusus pertanyaan yang berkenaan dengan pemaknaan istilah-istilah kualitas kenyamanan termal ruang dalam kaitannya dengan empat variabel iklim penentu kenyamanan termal Sugini

[17]. Menurut Fanger [18] kondisi kenyamanan termal dipengaruhi oleh faktor iklim dan faktor individu. Faktor iklim terdiri dari: radiasi matahari, temperatur udara, kelembaban udara relatif, dan kecepatan dan pergerakan udara di dalam ruang, sedangkan faktor individu adalah jenis aktivitas serta jenis pakaian yang digunakan.

3.1.1. Radiasi Matahari

Radiasi matahari sampai ke bumi untuk menghangatkan permukaan bumi. Begitupun pada suatu bangunan, radiasi matahari akan membuat ruangan terasa hangat. Pada siang hari radiasi matahari ini melimpah sehingga jika terlalu banyak akan mengakibatkan suhu udara di dalam ruangan meningkat, sebaliknya pada malam hari radiasi matahari sangat minim sehingga menimbulkan kedinginan pada tubuh seseorang. Maka dari itu diperlukan perancangan bangunan yang dapat mengatasi kelebihan dan kekurangan dari efek radiasi matahari ini. Rahman and Banjarbaru [19]

Radiasi Matahari adalah pancaran energi yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di matahari. Energi radiasi matahari berbentuk sinar dan gelombang elektromagnetik. Spektrum radiasi matahari sendiri terdiri dari dua yaitu, sinar bergelombang pendek dan sinar bergelombang panjang. Sinar yang termasuk gelombang pendek adalah sinar x, sinar gamma, sinar ultra violet, sedangkan sinar gelombang panjang adalah sinar infra merah .

Jumlah total radiasi yang diterima di permukaan bumi tergantung 4 (empat) faktor. Jarak matahari, Intensitas radiasi matahari, yaitu besar kecilnya sudut datang sinar matahari pada permukaan bumi. Jumlah yang diterima berbanding lurus dengan sudut besarnya sudut datang. Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi disebabkan karena energinya tersebar pada permukaan yang luas dan juga karena sinar tersebut harus menempuh lapisan atmosfer yang lebih jauh ketimbang jika sinar dengan sudut datang yang tegak lurus, Panjang hari (*sun duration*), yaitu jarak dan lamanya antara matahari terbit dan matahari terbenam. Setyowati [19].

3.1.2. Temperatur Udara (*Air temperature*)

Temperatur udara antara suatu daerah dengan daerah lainnya sangat berbeda. Perbedaan ini disebabkan adanya beberapa faktor, seperti sudut datang sinar matahari, ketinggian suatu tempat, arah angin, arus laut, awan, dan lamanya penyinaran. Satuan yang umumnya digunakan untuk temperatur udara adalah Celcius, Fahrenheit, Reamur dan Kelvin.

Iklim merupakan suatu kondisi dan gejala alam yang sangat besar pengaruhnya terhadap perencanaan dan perancangan suatu bangunan. Iklim dapat membentuk corak, sifat, gaya dan langgam arsitektur tersendiri sesuai dengan kondisi iklim setempat pada suatu daerah-daerah tertentu di permukaan bumi. Kenikmatan, kenyamanan, dan keamanan manusia sebagai pemakai bangunan dapat dicapai dengan melakukan pencegahan, perlindungan dan penyesuaian terhadap bangunan dari pengaruh-pengaruh iklim, yaitu sinar matahari, curah hujan dan angin. Irfandi [20]

Teori tentang temperatur udara menjelaskan bahwa umumnya daerah yang paling panas adalah daerah khatulistiwa, karena paling banyak menerima radiasi matahari. Tetapi temperatur udara juga dipengaruhi oleh faktor derajat lintang (musim), atmosfer, serta daratan dan air. Temperatur terendah pada 1-2 jam sebelum matahari terbit dan temperatur tertinggi pada 1-2 jam setelah posisi matahari tertinggi, dengan 43% radiasi matahari dipantulkan kembali, 43% diserap oleh permukaan bumi, dan 14% diserap oleh atmosfer.

Penyinaran langsung dari sebuah dinding bergantung pada orientasinya terhadap matahari, dimana pada iklim tropis fasade timur paling banyak terkena radiasi matahari, sehingga dapat disolusikan dengan beberapa bahan yang mampu menyerap 50%-95% radiasi matahari. Pengurangan radiasi panas dapat juga dilakukan dengan menggerakkan udara pada permukaan atap atau dinding. Kenyamanan termal (*thermal comfort*) merupakan hal penting

dalam menciptakan suatu kenyamanan di dalam ruang walaupun hal ini tergantung pada ciri perasaan subjektif (*subjective feeling state*) dan kenyamanan berperilaku (*behavior comfort*).

Ukuran-ukuran kenyamanan secara tepat sulit diidentifikasi karena adanya kombinasi dari pergerakan udara kelembaban dan pergerakan angin. Kombinasi temperatur udara, kelembaban, dan kecepatan angin yang membentuk temperatur nyaman pada saat tertentu dikatakan sebagai temperatur efektif. Szokolay [21] dan Koenisberger [22]

Pengukuran kondisi termal juga sering dilakukan dengan menggunakan temperatur efektif (TE). Kombinasi temperatur udara, kelembaban dan kecepatan angin yang membentuk temperatur nyaman pada saat tersebut dikatakan sebagai temperature efektif. Szokolay [23]

Untuk mengetahui nilai TE yang dirasakan oleh manusia yang tinggal di suatu wilayah tertentu, dapat didekati dengan menggunakan diagram monogram untuk menggambarkan hubungan antara faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal. Adapun batas-batas kenyamanan akibat faktor temperatur udara untuk daerah khatulistiwa adalah 19°C TE (batas bawah) - 26°C TE (batas atas). Lippsmeier [24]

Pada temperatur 26°C TE umumnya manusia sudah mulai berkeringat. Pada temperatur $26^{\circ}\text{C TE} - 30^{\circ}\text{C TE}$ daya tahan dan kemampuan kerja manusia mulai menurun. Temperatur lingkungan mulai cukup sulit diterima dirasakan pada suhu $33,5^{\circ}\text{C TE} - 35,5^{\circ}\text{C TE}$, dan pada suhu $35^{\circ}\text{C TE} - 36^{\circ}\text{C TE}$ kondisi lingkungan tidak dapat ditolerir lagi. Menurut Talarosha [25] kondisi udara yang tidak nyaman cenderung akan menurunkan tingkat produktifitas seperti terlalu dingin atau terlalu panas, sedangkan produktifitas kerja manusia dapat meningkat pada kondisi suhu yang nyaman.

Kondisi iklim mikro utamanya temperatur dan kelembaban relatif udara tidak sepenuhnya berada pada ambang batas kenyamanan termal karena dipengaruhi oleh faktor beberapa kondisi langit dan musim. Pada kondisi langit cerah ketersediaan radiasi matahari cukup banyak dibanding pada kondisi langit berawan, medung ataupun hujan. Kondisi daya dukung iklim terutama temperatur dan kelembaban relatif udara di ruang luar bangunan tidak sepenuhnya dapat menunjang penerapan system pengkondisian pasif untuk mencapai kenyamanan termal dalam ruangan. Rahim et al. [26]

Bukaan Inlet yang lebih luas dibanding outlet akan meningkatkan pergerakan udara yang lebih merata pada ruangan. Udara yang akan keluar akan terhambat karena bukaan outlet kecil, sehingga akan meningkatkan tekanan statis pada area di bawah bukaan. Variasi bukaan dapat diterapkan untuk meningkatkan kecepatan udara yang lebih merata dalam ruangan, namun harus diterapkan dengan cermat dan memenuhi syarat luasan total outlet lebih kecil dari Inlet dan bervariasi bukaan outlet. Sahabuddin [27]

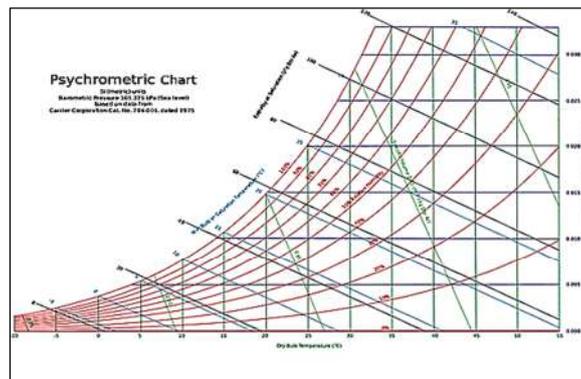
Menurut Widiyananto [28] kenyamanan Suhu didapat bukan hanya menurunkan temperatur udara ruang tetapi dengan pendinginan terhadap suhu ruang. Pendinginan yang diinginkan di wilayah iklim tropis lembab adalah dengan ventilasi silang, salah satu faktor keberhasilan ventilasi silang adalah pergerakan udara yang memadai (*cross ventilation*) sehingga pendinginan dapat tercapai. Pengendalian terhadap kualitas udara dalam ruang dapat ditempuh melalui cara pemindahan atau penggantian sumber pencemaran, memodifikasi tempat/ruang, dan mendesain sistem ventilasi udara. Arjani [29].

3.1.3. Kelembaban Udara dan Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Kelembaban udara adalah kandungan uap air yang ada di udara. Kelembaban udara menjadi faktor penting dalam kenyamanan termal pada saat suhu udara mendekati atau melampaui ambang batas kenyamanan dan kelembaban udara lebih dari 70% serta kurang dari 40%. Pada kondisi di dalam ruang, kelembaban udara ini mempengaruhi pelepasan kalor dari tubuh manusia. Kelembaban udara yang tinggi akan menyebabkan kalor di dalam tubuh manusia sulit dilepaskan, sehingga kondisi ini akan menciptakan rasa tidak nyaman. Untuk mengimbangi kondisi kelembaban yang tinggi ini dibutuhkan kecepatan angin yang cukup di dalam ruang, sedangkan kelembaban relatif adalah rasio antara jumlah uap air

di udara dengan jumlah maksimum uap air dapat ditampung di udara pada temperatur tertentu. Fardiaz [30]. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelembaban udara, yakni radiasi matahari, tekanan udara, ketinggian tempat, angin, kerapatan udara, serta suhu. Utami, Kaswanto, and Hadi [31].

Teori kelembaban udara menjelaskan bahwa semakin tinggi udara, maka semakin kemampuan udara untuk menyerap air, berarti semakin tinggi kelembaban udaranya. Temperatur lembab menunjukkan kombinasi antar temperatur kering yang diukur secara normal dan kadar kelembaban udara. Temperatur, kelembaban, kecepatan udara, jenis pakaian dan aktifitas biasanya di ukur dan dianalisis melalui diagram Psikometrik yang menghasilkan nilai *Predicted Mean Vote (PMV)*, *Predicted Percentage of Discomfort (PPD)*, dan *Sensation Efektif Temperature (SET)*. Diagram Psikometrik Seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1: Diagram psikometrik untuk perhitungan PMV, PPD, dan SET

Kelembaban udara dapat mengalami fluktuasi yang tinggi karena sangat tergantung perubahan temperatur udara. Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula kemampuan udara menyerap air. Kelembaban relatif menunjukkan perbandingan antara tekanan uap air yang ada terhadap tekanan uap air maksimum dalam kondisi temperatur udara tertentu, yang dinyatakan dalam persentase. Udara yang jenuh tidak dapat menyerap air lagi karena tekanan air maksimum telah tercapai, sedangkan kelembaban absolut adalah kadar air dari udara yang dinyatakan dalam gram perkilogram udara kering, dengan cara mengukur tekanan yang ada pada udara dalam kilo pascal (Kpa) atau disebut juga tekanan uap air.

Kelembaban udara yang nikmat untuk tubuh berkisar 40-70%. Padahal di tempat-tempat tertentu seperti di tepi pantai berkisar 80-98%. Untuk itu diperlukan pengembangan lain demi rasa comfort tubuh. Dengan kata lain, proses penguapan harus dipercepat. Jika kelembaban udara sudah jenuh, maka tubuh kita tidak bisa menguapkan keringat lagi Mangunwijaya [32].

Udara adalah salah satu elemen yang ada di sekitar kita dan tidak dapat lepas dari kehidupan manusia. Manusia tidak dapat jauh dari udara karena kehidupan manusia tergantung pada oksigen yang merupakan gas yang digunakan manusia untuk bernafas. Manusia tidak dapat jauh dari udara, bahkan dalam beberapa menit sekalipun. Tidak hanya untuk bernafas saja, nyatanya udara memang sangat mempengaruhi kehidupan makhluk hidup.

Udara memenuhi ruang di setiap sudut yang ada di Bumi. Udara tidak terlihat, tidak berbau dan tidak berasa karena udara sendiri merupakan benda gas. Namun udara yang tidak sehat atau tidak bersih terkadang kita ketahui dari ciri tertentu, seperti ada bau yang bisa kita cium. Selain itu terkadang udara bisa kita rasakan yakni tingkat dingin atau panasnya. Udara yang dingin biasanya memiliki tingkat kelembaban yang lebih rendah daripada udara yang panas.

Udara yang panas biasanya memiliki tingkat kelembaban yang lebih rendah daripada yang dingin. Bisa dibedakan melalui lokasi. Daerah di pegunungan memiliki udara dengan tingkat

kelembaban yang lebih tinggi daripada di daerah perkotaan. Selain tempat dan juga suhu, ada beberapa hal lagi yang berpengaruh terhadap kelembaban udara. Beberapa faktor yang mempengaruhi kelembaban udara menurut Rahim et al. [33] yaitu: (a) Suhu: Suhu merupakan faktor pertama yang akan kita bahas disini. Yang dimaksud dengan suhu adalah derajat panas suatu benda. Semakin tinggi suatu benda maka akan semakin panas benda tersebut. Sebaliknya, semakin rendah suhu suatu benda maka akan terasa semakin dingin benda tersebut. Oleh karena kelembaban udara ini ada hubungannya dengan kandungan air maka semakin tinggi suhu suatu udara maka semakin rendah kelembaban udara yang dimiliki udara tersebut. Sebaliknya, semakin rendah suhu udara maka kelembaban yang dimiliki pun semakin tinggi; (b) Tekanan udara: tekanan udara berbanding lurus dengan tingkat kelembaban udara. Semakin tinggi tekanan udara di suatu tempat maka udara tersebut semakin memiliki kelembaban yang tinggi. hal ini di sebabkan karena udara yang ada jumlahnya terbatas; (c) Pergerakan udara: Pergerakan udara juga mempengaruhi tingkat kelembaban udara. Pergerakan udara merupakan hal yang berpengaruh bagi kelembaban udara. Hal ini karena adanya angin dapat mempengaruhi proses penguapan pada sumber air dan menjadi salah satu faktor dalam pembentukan awan; (d) Kuantitas dan kualitas penyinaran matahari: Penyinaran yang dilakukan oleh matahari juga menjadi salah satu hal yang mempengaruhi kelembaban suatu udara. Penyinaran matahari yang tinggi akan menurunkan kelembaban yang tinggi. Hal ini tetu tidak lepas dari kandungan uap air pada suatu udara. Penyinaran matahari akan menghilangkan kandungan uap air sehingga akan berdampak pada menurunnya tingkat kelembaban udara; (e) Vegetasi: Elemen lansekap seperti pepohonan/tanaman dan vegetasi juga dapat digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari. Keberadaan pohon secara langsung/tidak langsung akan menurunkan suhu udara di sekitarnya, karena radiasi matahari akan diserap oleh daun untuk proses fotosintesa dan penguapan. Efek bayangan oleh vegetasi akan menghalangi pemanasan permukaan bangunan dan tanah di bawahnya.

Vegetasi merupakan tumbuh- tumbuhan yang berada di suatu tempat. Vegetasi juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kelembaban udara pada suatu tempat. Sebenarnya dari vegetasi yang mempengaruhi kelembaban udara adalah kerapatannya. Apabila suatu tempat memiliki kerapatan vegetasi yang tinggi, maka kelembaban udaranya juga tinggi. hal ini karena ada seresah yang menutupi permukaan tanah dengan rapat, maka menyebabkan uap air terkunci di dalam nya. Sebaliknya, apabila kerapatan vegetasinya rendah, maka kelembaban udara ditempat tersebut juga rendah karena seresah yang menutupi permukaan tanah juga jarang; (f) Ketersediaan air: Ketersediaan air merupakan salah satu hal yang sangat menentukan kelembaban udara di suatu tempat. Tingkat kelembaban udara diukur dari banyaknya uap air yang terkandung di dalam udara. Oleh sebab itu daerah yang memiliki ketersediaan air yang banyak akan memiliki tingkat kelembaban udara yang tinggi, sementara tempat yang memiliki ketersediaan air yang rendah maka tingkat kelembabannya juga rendah.

Untuk memodifikasi udara luar yang terlalu panas masuk ke dalam bangunan dapat dilakukan dengan membuat air buatan (*artificial water*) dalam bangunan. Keberadaan air akan menurunkan suhu udara di sekitarnya karena terjadi penyerapan panas pada proses penguapan air. Selain menurunkan suhu udara, proses penguapan akan menaikkan kelembaban. Untuk daerah iklim tropis panas dan lembab seperti di Indonesia yang memiliki kelembaban yang tinggi maka peningkatan kelembaban harus dihindarkan. Oleh sebab itu penggunaan elemen air harus mempertimbangkan adanya gerakan udara (angin) sehingga tidak terjadi peningkatan kelembaban; (g) Ketinggian tempat: Ketinggian suatu tempat akan merasakan bahwa udara terasa lebih dingin daripada ketika berada di tempat yang lebih rendah. Hal ini karena kandungan uap air yang ada di wilayah ketinggian lebih banyak daripada di wilayah rendah. Dengan demikian semakin tinggi suatu tempat maka kelembaban udaranya pun semakin tinggi dan sebaliknya, semakin rendah suatu tempat maka kelembaban udaranya pun semakin rendah; (h) Kerapatan udara: Kerapatan udara menjadi faktor selanjutnya yang mempengaruhi kelembaban udara. Kerapatan udara akan sangat berkaitan dengan kelembaban. Semakin rapat

udara di suatu tempat, maka kelembabannya pun tinggi, sebaliknya apabila kerapatan udaranya renggang, maka kelembabannya rendah.

3.1.4. Kecepatan Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang disebabkan adanya gaya yang diakibatkan perbedaan tekanan dan perbedaan suhu. Menurut Satwiko [34] Kecepatan angin pada daerah yang beriklim tropis lembab cenderung sangat minim. Kecepatan angin umumnya terjadi pada siang hari atau pada musim pergantian. Kecepatan udara yang bergerak ini sangat membantu mempercepat pelepasan kalor pada permukaan kulit. Angin membantu mengangkat uap-uap air yang menghambat pelepasan kalor. Akan tetapi jika angin ini terlalu kencang maka kalor yang dilepaskan tubuh menjadi berlebih sehingga akan timbul kondisi kedinginan yang mengurangi kenyamanan termal.

Arah angin sangat menentukan orientasi bangunan. Di daerah lembab diperlukan sirkulasi udara yang terus menerus. Di daerah tropika basah, dinding-dinding luas sebuah bangunan terbuka untuk sirkulasi udara lebih besar dari yang dibutuhkan untuk pencahayaan. Bangunan di daratan harus memperhatikan sifat angin yang kadang-kadang kencang dan hal ini perlu dihindari. Untuk daerah panas-lembab, pola penataan bangunan teratur dalam bentuk grid dengan pola jalan yang saling memotong tegak lurus dan bangunan seperti itu akan menambah hembusan angin yang dapat dimanfaatkan untuk ventilasi di dalam bangunan dan diharapkan menjadi lancar. Sedangkan pola penataan bangunan yang mengakibatkan blocking pergerakan udara karena adanya bidang penghambat. Kurang sesuai untuk iklim panas lembab dan lebih sesuai untuk daerah beriklim cold-dry dan hot-dry, karena pola tersebut dipertimbangkan untuk menghambat pengaruh hembusan angin dingin maupun angin yang membawa debu, khususnya di malam hari. Gideon S. Golany [35].

Pengukuran kondisi termal juga sering dilakukan dengan menggunakan temperature efektif (TE). Kombinasi temperatur udara, kelembaban, dan kecepatan angin yang membentuk temperatur nyaman. Faktor-faktor yang mempengaruhi TE adalah temperatur udara, kelembaban udara, radiasi matahari dan pergerakan udara. Szokolay [36].

Untuk mengetahui nilai TE yang dirasakan oleh manusia yang tinggal di suatu wilayah tertentu, dapat didekati dengan menggunakan diagram monogram untuk menggambarkan hubungan antara faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal.

Kenyamanan hanya dapat dicapai apabila pada suatu kondisi udara tertentu, terdapat suatu kecepatan angin tertentu yang mampu menghasilkan proses evaporasi yang seimbang Szokolay [37] sehingga kecepatan angin berhubungan erat dengan tingkat kepadatan bangunan yang ada pada lingkungan tersebut dan bentuk rumah beserta elemen pembentuknya.

3.1.5. Insulasi Pakaian (*clothing Insulation-clo*)

Faktor lain yang mempengaruhi kenyamanan termal adalah jenis dan bahan pakaian yang digunakan. Salah satu cara manusia untuk beradaptasi dengan keadaan termal di lingkungan sekitarnya adalah dengan cara berpakaian, misalnya, mengenakan pakaian tipis di musim panas dan pakaian tebal di musim dingin. Pakaian juga dapat mengurangi pelepasan panas tubuh. Pada penelitian mengenai '*Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia*' disebutkan bahwa penghuni ruang dapat beradaptasi terhadap kondisi termal dengan menyesuaikan jenis pakaian dengan kondisi iklim yang ada di sekitarnya. Feriadi, NH.Wong [38].

Pada suhu udara yang rendah (dingin), pakaian tebal diperlukan untuk menahan pelepasan panas dari tubuh ke udara sekitarnya. Sebaliknya pada suhu udara tinggi (dimana suhu udara mendekati atau melebihi suhu kulit, pakaian tipis dan longgar akan diperlukan untuk mempermudah pelepasan panas tubuh ke udara di sekitarnya.

Dalam beberapa hal, pakaian maupun jenisnya dapat mencerminkan keadaan iklim setempat. Di daerah yang beriklim panas orang cenderung berpakaian tipis, sebaliknya di negara yang beriklim dingin orang cenderung berpakaian tebal.

Tabel 2. Nilai insulasi jenis pakaian pria

No	Jenis Pakaian Pria	clo
1	Singlet Tanpa Lengan	0.06
2	Kaos Berkerah	0.09
3	Celana Dalam	0.05
4	Kemeja - Ringan lengan pendek	0.14
5	Kemeja - Ringan lengan panjang	0.22
6	Rompi - Ringan	0.15
7	Rompi - Berat	0.29
8	Celana - Ringan	0.26
9	Celana - Berat	0.32
10	Sweater - Ringan	0.20
11	sweater - Berat	0,37
12	Jacket - Ringan	0.22
13	Jacket - Berat	0.49
14	Kaos Tumit	0.04
15	Kaos Dengkul	0.1
16	Sepatu	0.04
17	Sepatu Boot	0.08

Sumber: SNI 2012

Tabel 3. Nilai insulasi jenis pakaian Wanita

No	Jenis Pakaian Wanita	clo
1	Kutang dan Celana Dalam	0.05
2	Rok dalam - Setengah	0.13
3	Rok Dalam - Penuh	0.19
4	Blus - Ringan	0,20 (a)
5	Blus - Berat	0,29 (a)
6	Pakaian - Ringan	0,22(a,b)
7	Pakaian - Berat	0,70(a,b)
8	Rok - Ringan	0,10 (b)
9	Rok - Berat	0,22 (b)
10	Celana Panjang Wanita - Ringan	0.26
11	Celana Panjang Wanita - Berat	0.44

Sumber: SNI 2012

3.1.6. Aktivitas (*Metabolic Rate*)

Aktivitas yang dilakukan manusia akan meningkatkan proses metabolisme tubuhnya. Semakin tinggi tingkat dan frekwensi aktivitas yang dilakukan, maka semakin besar juga peningkatan metabolisme yang terjadi di dalam tubuh, sehingga jumlah energi panas yang dikeluarkan semakin besar.

Tabel 4. Metabolisme rate berdasarkan aktivitas dalam ruang

Kegiatan	Tingkat Metabolisme		
	Units	W/m ²	(Btu/h·ft ²)
Istirahat			
Tidur	0,7	40	13
Berbaring	0,8	45	15
Duduk, Tenang	1	60	18
Berdiri, Santai	1,2	70	22
Menari	2,4-4,4	140-255	(44-81)

Senam/olah raga	3,0-4,0	175-235	(55-74)
Tennis	3,6-4,0	210-270	(66-74)
Basketball	5,0-7,6	290-440	(90-140)
Gulat	7,0-8,7	410-505	(130-160)

Sumber: (ASHRAE 2019)

Jenis aktifitas berpengaruh pada laju metabolisme tubuh manusia. Laju metabolisme pada tubuh manusia bervariasi tergantung dari jenis aktifitas yang dilakukannya. Laju metabolisme dinyatakan dalam satuan ‘met’ (*metabolic rate* atau laju metabolisme), yang didefinisikan sebagai laju metabolisme tubuh per satuan luas tubuh manusia dalam keadaan istirahat (duduk dan diam); 1 met setara dengan 50 kcal/h.m²

Penelitian Boothby yang dikutip oleh McIntyre [39], memperlihatkan bahwa basal metabolisme manusia menurun seiring dengan bertambahnya usia. Sebagai perbandingan, basal metabolisme laki-laki menurun dari 49 W/m² (pada usia 20 tahun) menjadi 44 W/m² pada usia 40 dan menurun lagi menjadi 41 W/m² pada usia 60 tahun, sementara itu pada wanita laju metabolisme tersebut turun dari 43 W/m² pada usia 20 tahun dan menjadi 41 W/m² pada usia 40 tahun dan menurun lagi menjadi 38 W/m² pada usia 60 tahun. Dari sini juga terlihat bahwa laju metabolisme pria lebih tinggi dibanding wanita pada usia yang sama.

Penelitian dari Darwin [40] menyimpulkan bahwa laju metabolisme basal menurut status berat badan atlet karate Kota Makassar berbeda karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jaringan aktif dalam tubuh, besar dan luas bidang permukaan tubuh, komposisi tubuh, jenis kelamin, usia, sekresi hormon, waktu tidur, kekuatan otot, kondisi emosi dan mental, gerakan tubuh yang berat, kondisi tubuh yang tidak sehat.

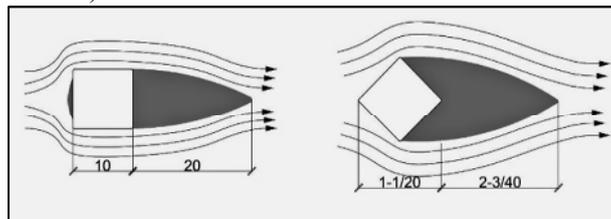
Pada penelitian Devi [41] terhadap penataan ruang Panti jompo berdasarkan aktivitas dan perilaku penghuni di jelaskan bahwa kenyamanan fisik memiliki korelasi dengan kenyamanan psikologis penghuninya. Arsitektur dapat menunjang rasa nyaman bagi penghuninya. Secara fisik terpenuhi, maka sedikit banyak memberikan dampak yang positif juga bagi psikologis penghuninya.

3.2. Faktor Kenyamanan Termal Ruang dari Segi Arsitektural

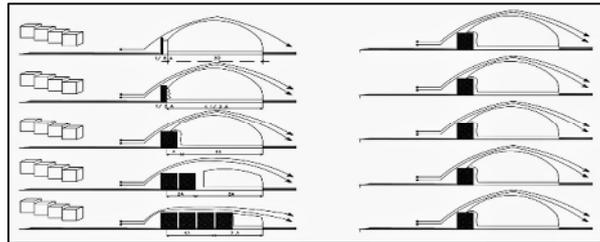
Adapun faktor-faktor lain yang mempengaruhi kenyamanan termal ruangan dari segi arsitektural menurut Latifah et al. [42], yakni:

3.2.1. Desain Bangunan

Pada iklim tropis, fasad bangunan yang berorientasi Timur-Barat merupakan bagian yang paling banyak terkena radiasi matahari Mangunwijaya [43]. Oleh karena itu, bangunan dengan orientasi ini cenderung lebih panas dibandingkan dengan orientasi lainnya. Selain orientasi terhadap matahari, orientasi terhadap arah angin juga dapat mempengaruhi kenyamanan termal, karena orientasi tersebut dapat mempengaruhi laju angin ke dalam ruangan. Dimensi dan bentuk dari suatu bangunan juga dapat mempengaruhi lebar bayangan angin Boutet [44] (Gambar 2).



Gambar 2 Orientasi bangunan persegi terhadap arah angin (Boutet, 1987 dalam (Latifah et al. 2013)



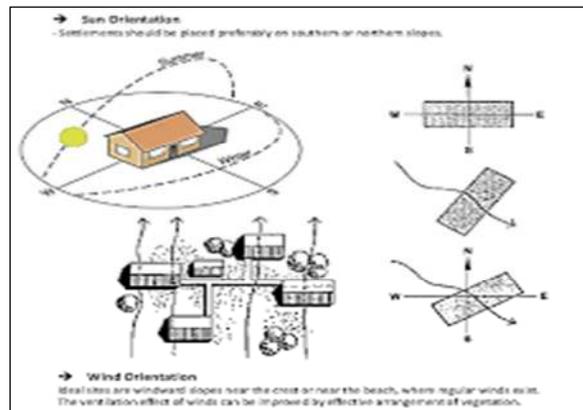
Gambar 3. Pengaruh dimensi dan bentuk dari bangunan terhadap ukuran bayangan angin (Boutet, 1987 dalam (Latifah et al. 2013)

Radiasi panas matahari masuk melalui proses konduksi pada material bangunan. Latifah et al. . Panas tersebut dapat masuk ke dalam ruangan melalui dinding, atap, ataupun kaca jendela (Tabel 5). Perletakan massa bangunan yang berpola seperti papan catur akan membuat aliran udara lebih merata. Perletakan massa bangunan yang berpola sejajar akan menciptakan pola lompatan aliran udara yang tidak biasa dengan kantung turbulensinya.

Tabel 5. Transmittan konstruksi pada dinding bangunan

No.	Tipe konstruksi	W/m ² Deg ^o c
1	Batu bata dipilester kedua sisi, tebal 144 mm	3,24
2	Batu bata tidak dipilester, tebal 228 mm	2,67
3	Batu bata dipilester kedua sisi, tebal 228 mm	2,44
4	Beton padat biasa, tebal 152 mm	3,58

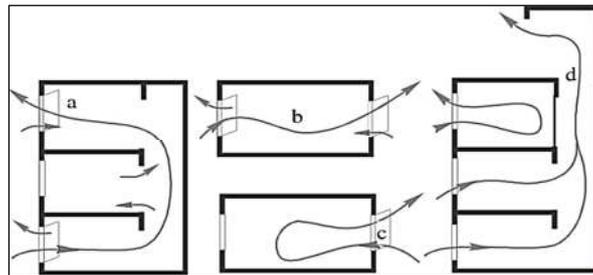
(Latifah et al. 2013)



Gambar 4. Pengaruh perletakan massa bangunan terhadap aliran udara (Boutet, 1987 dalam (Latifah et al. 2013).

3.2.2. Desain Bukaannya

Perletakan dan orientasi inlet berada pada zona bertekanan positif, sedangkan outlet berada pada zona bertekanan negatif. Inlet dapat mempengaruhi kecepatan dan pola aliran udara di dalam ruangan, sedangkan pengaruh outlet hanya pengaruh kecil saja Mclaragno, Michele, [45] dalam (Latifah et al. 2013). (Gambar 5). Bukaannya berfungsi untuk mengalirkan udara ke dalam ruangan dan mengurangi tingkat kelembaban di dalam ruangan. Bukaannya yang baik harus terjadi cross ventilation, sehingga udara dapat masuk dan keluar ruangan (Gambar 4).



Configurations for passive cooling. a) two openings; b) cross ventilation; c) single sided ventilation; d) stack ventilation.

Gambar 5. Pengaruh perletakan dan orientasi bukaan terhadap angin.

(Sumber: Claude-Alain Roulet (Latifah et al. 2013).

Semakin besar perbandingan luas outlet terhadap inlet, maka kecepatan angin di dalam ruangan lebih tinggi sehingga ruangan lebih sejuk. Tipe bukaan yang berbeda akan memberikan sudut pengarah yang berbeda pula dalam menentukan arah gerak udara dalam ruang.

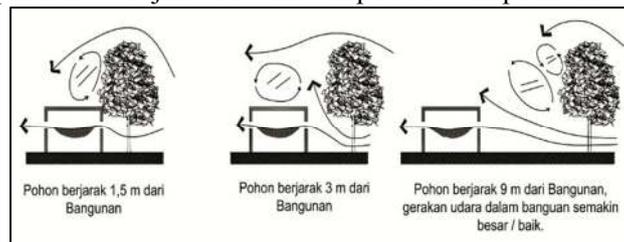


Gambar 6. Tipe bukaan

(Sumber: Beckett, 1974 dalam (Latifah et al. 2013)

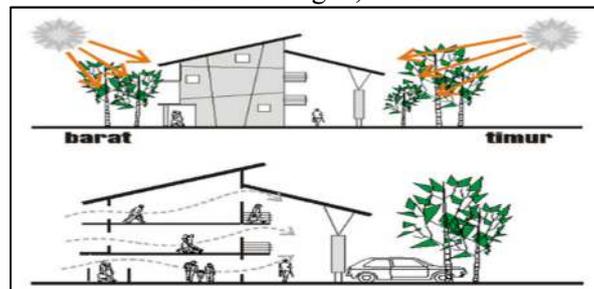
3.2.3. Pengaruh Luar

Perletakan vegetasi di area sekitar bangunan dapat mengurangi radiasi panas matahari ke bangunan baik secara langsung maupun tidak langsung. Menurut Yahya, L [46] dalam (Latifah et al.[47], semakin jauh jarak pohon dari suatu bangunan, maka pergerakan udara di dalam bangunan yang tercipta akan menjadi lebih baik seperti terlihat pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Jarak pohon terhadap bangunan

Sumber: Egan, 1975



Gambar 8. Jarak pohon terhadap bangunan dan pengaruhnya terhadap ventilasi alami

Sumber: Egan, 1975

3.2.4. Pelindung Terhadap Radiasi Matahari

Apabila orientasi bangunan harus Timur Barat, maka jendela-jendela yang berada di sisi ini harus dilindungi dari radiasi panas dan dari efek silau yang muncul pada saat sudut matahari rendah yang dapat mengganggu aktivitas di dalam ruangan. Berikut ini adalah elemen arsitektur yang sering digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari (*solar shading devices*) (Gambar 8).



Gambar 8. Jenis - jenis solar shading devices sebagai pelindung terhadap radiasi matahari

3.3. Penelitian-Penelitian terdahulu terkait dengan kenyamanan termal

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu terkait kenyamanan termal dapat dijelaskan, bahwa penelitian yang dilakukan oleh Baharuddin [48], Binarti et al.[49], Diana Susilowati [50], Rilatupa [51], Kusumo [52] memiliki latar belakang yang sama terhadap kenyamanan termal.

Penelitian yang terkait dengan sistem radiasi matahari di lakukan oleh Napier [53], Rifai, Tongkukut, dan Raharjo [54], Rahman and Banjarbaru [55], Zatibayani, Nugroho, and Santosa [56] menyimpulkan bahwa pengaruh radiasi matahari terhadap bangunan sangat di tentukan oleh elemen dan pola pembayangan cahaya melalui efek *sun shading* pada bangunan, olehnya itu intensitas cahaya, penangkal dan penerimaan radiasi, model fasade bangunan sangat penting dalam menentukan tingkat kenyamanan termal bangunan.

Dalam Penelitian yang di lakukan oleh Rahmawati, Akbar, and Agustin [57], Ilman Basthian [58], Qurrotul A'yun [59] dalam hal perancangan bangunan yang terkait dengan kenyamanan termal yaitu faktor kecepatan angin yang berpengaruh terhadap desain bukaan. Kesimpulan dari ketiga penulis tersebut menekankan pada eskplorasi dan model bukaan atau ventilasi dalam bangunan yang dapat mempengaruhi kenyamanan dalam bangunan.

Kemudian Madina, Nurrizka, dan Komala [60] menyatakan dari hasil penelitiannya terhadap kondisi pencahayaan alami dan kenyamanan termal serta hubungannya dengan fasade bangunan, studi kasus bangunan Campus Center Barat ITB. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa secara umum, dari segi desain bangunan campus center Barat sudah berusaha untuk merespon iklim lingkungan sekitar, misalnya dari tata letak ruang, hanya saja karena penggunaan kaca yang berlebih ini mengakibatkan kondisi kenyamanan termal dan pencahayaan alami pada ruangan tidak optimal.

Mahdavinejad [61] Berdasarkan hasil penelitiannya mengungkapkan bahwa parameter yang mempengaruhi perilaku klasik selubung ganda bangunan seperti sudut fasad berbeda terhadap sudut radiasi matahari, sisi dingin, waktu radiasi matahari (jam, musim), sudut dinding luar terhadap bumi, rasio volume terhadap basis persegi, kualitas pluralitas aliran udara, tinggi bangunan, panjang bangunan, orientasi bangunan, ukuran pintu masuk dan keluar katup (terbuka atau tertutup), bayangan, jumlah pintu masuk rongga, dan bayangan yang berdekatan bangunan.

Menurut Talarosha, B [62] Cara yang paling mudah memperoleh kenyamanan termal secara alamiah yaitu melalui pendekatan arsitektural: merancang bangunan dengan mempertimbangkan orientasi terhadap matahari dan arah angin, pemanfaatan elemen arsitektur dan material bangunan, serta pemanfaatan elemen-elemen lansekap.

Mircea P.M. [63] menjelaskan bahwa desain bangunan, terkait dengan iklim mikro harus merupakan hasil perhitungan optimasi diberikan kenyamanan (secara teknis dan secara psikologis) dan penghematan energi dalam waktu bersamaan.

Aslani, Bakhtiar, dan Akbarzadeh [64] dalam penelitiannya menyimpulkan untuk menganalisis dimensi dan adaptasi bangunan teknologi selubung berdasarkan pada diagram siklus Hype. Diagram siklus sensasi menggabungkan teknologi siklus hidup dan adaptasi teknologi, disimpulkan bahwa sebagai salah satu elemen utama bangunan, selubung memiliki arti penting dalam konsumsi energi. Meskipun teknologi selubung yang berbeda telah dikembangkan dan diluncurkan. Oleh karena itu, penilaian teknologi selubung yang berbeda dari sudut pandang energi adalah kepentingan para peneliti, insinyur, investor, dan pembuat keputusan.

Sarinda, Sudarti, and Subiki [65] menjelaskan dalam penelitian tentang analisis perubahan suhu ruangan terhadap kenyamanan termal mengungkapkan bahwa hasil pengukuran suhu ruang yang terukur memiliki nilai yang berbeda pada masing-masing ruang.

Munawaroh dan Elbes [66] menjelaskan terkait dengan persepsi pengguna untuk kenyamanan termal menyimpulkan bahwa bahwa tingkat kenyamanan termal pada bangunan Perpustakaan IBI Darmajaya Lampung kurang nyaman berdasarkan hasil pengukuran suhu dan kecepatan angin, sedangkan berdasarkan pengukuran kelembaban bangunan dalam kondisi nyaman. Tingkat kenyamanan termal berdasarkan persepsi pengguna diperoleh melalui pengisian lembar kuesioner, sebanyak 50% pengguna berpendapat kondisi nyaman, 30% berpendapat sangat nyaman, dan 20% berpendapat kondisi tidak nyaman.

Penelitian tentang lingkungan dalam ruangan selama beberapa dekade terakhir menjadi lebih penting, karena kebanyakan orang di zaman modern masyarakat menghabiskan hampir 90% waktu mereka di dalam ruangan. Konsep lingkungan dalam ruangan terdiri dari beberapa faktor yang berbeda. Skoog, J. et.al [67].

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu di atas, dapat diidentifikasi beberapa celah penelitian (*research gap*). Menurut Alvesson & Sandberg [68] *research gap* adalah permasalahan yang belum tuntas diteliti atau belum pernah diteliti oleh penelitian sebelumnya. *Research gap* dari sebuah penelitian umumnya unik dan menjadikan pembeda antara satu riset dengan riset lainnya. Berikut *research gap* yang ditemukan dari berbagai riset terdahulu yang dapat diidentifikasi dalam penelitian studi literatur sistematis (SLS) ini yaitu: Terdapat gap metodologi, dimana mayoritas peneliti sebelumnya menggunakan metode kuantitatif tanpa menggunakan simulasi untuk menginvestigasi tingkat kenyamanan termal. Hal ini dirasa kurang tepat karena kenyamanan termal adalah fenomena yang dirasakan individu sehingga harus ada simulasi untuk mempertegas tingkat kenyamanan termal berdasarkan pada indikator-indikator yang di gunakan dan juga berdasarkan kepada aturan-aturan standard seperti SNI, ASHRAE, maupun ISO-7730.

Terdapat gap dalam objek penelitian, dimana mayoritas penelitian-penelitian terdahulu umumnya hanya berkisar pada fenomena seperti sistem ventilasi atau bukaan, model fasade, orientasi bangunan, tingkat iluminasi, desain dan material selubung pada bangunan yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal, yang pada kenyataannya bahwa untuk menentukan kenyamanan termal juga di pengaruhi oleh faktor-faktor antara lain ketinggian tempat, ketersediaan air, vegetasi, dan kerapatan udara.

4. KESIMPULAN DAN RISET MENDATANG

Dari berbagai penelitian terdahulu, dapat disimpulkan variabel-variabel tingkat kenyamanan termal yaitu variabel iklim dan variabel individu manusia.

Faktor iklim yang mempengaruhi kondisi termal terdiri dari: suhu udara, radiasi matahari, kelembaban udara relatif, dan kecepatan angin serta kecepatan angin, sedangkan faktor individu yang menentukan keadaan suhu nyaman adalah jenis aktivitas serta jenis pakaian yang digunakan.

Kualitas lingkungan dalam ruangan telah menjadi parameter penting untuk diperhitungkan dalam bangunan yang baru dan yang sudah ada bangunan karena meningkatnya jumlah orang yang menghabiskan sebagian besar waktu mereka di dalam ruangan. Umumnya, desain dan evaluasi lingkungan dalam ruangan di gedung bergantung pada pedoman yang tepat dan rekomendasi standar IEQ nasional dan internasional menentukan kondisi lingkungan dalam ruangan dianggap dapat diterima oleh sebagian besar penghuni.[69], [70].

Kondisi ideal yang harus dibuat untuk menciptakan bangunan nyaman secara termal adalah sebagai berikut: Teritis atap/Overhang cukup lebar, selubung bangunan (atap dan dinding) berwarna muda (memantulkan cahaya), terjadi ventilasi silang, bidang-bidang atap dan dinding mendapat bayangan cukup baik, penyinaran langsung dari matahari dihalangi (menggunakan *solar shading devices*) untuk menghalangi panas dan silau.

Berdasarkan hal tersebut tingkat kenyamanan termal dapat di analisis berdasarkan pada faktor-faktor penyebab dan konsep pendekatan yang lakukan seperti tersaji pada tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Konsep dan pendekatan kenyamanan dan lingkungan termal

No	Variabel	Faktor-Faktor Penyebab Ketidaknyamanan termal	Konsep/Solusi
1	Radiasi Matahari	Sinar Matahari Langsung	Pelindung dari radiasi matahari seperti penggunaan Sun Shading, overstek, Teritisan
		Material Bangunan	Materail tahan terhadap radiasi matahari seperti penggunaan kaca reflektif
		Orientasi Bangunan	Memaksimalkan Model/betuk Fasade dan orientasi bangunan
2	Temperatur Udara	Suhu dan temperatur tinggi	Mengatur Pencahayaan Ruang Menambah Ruang Terbuka Hijau Hindari jenis lampu cepat panas (pijar)
3	Kelembaban	Derajat panas Bangunan/ruang	memasang exhaust fan
		Tekanan Udara Yang tinggi	penggunaan kapur serap air
		Pergerakan angin yang kurang	memasang dehumidifier.
		Penyinaran matahari	konsep secondary skin pada fasad
		Vegetasi kurang	Menambah Ruang Terbuka Hijau
		Ketinggian Tempat	Orientasi matahari dan arah angin
		Ketersediaan air	Artificial water
Kerapatan udara	Kelembababn yang rendah		
4	Kecepatan Angin	Kinerja Ventilasi yang kurang	Perletakan dan orientasi bukaan inlet dan lebar bukaan.
		Tidak terjadi <i>Cross Ventilation</i>	posisi inlet dan outlet pada elevasi yang berbeda
		Tapak bangunan	Orientasi arah angin
5	Ativitas	Ruang Gerak	Standard Gerak
		Perabot	Penataan perabot yang lebih efisien
		Penataan Ruang	Pola ruang yang dinamis
6	Jenis Pakaian	Tebal	Bahan yang lembut

Bahan Pakaian	tipis
Model	Sporty dan elegan

4.1. Riset Mendatang

Penelitian mendatang diharapkan dapat meninjau ruang lingkup kenyamanan termal berdasarkan kepada elemen-elemen pembentuk bangunan dan ruang serta elemen arsitektural. Berdasarkan kepada iklim makro yang spesifik di Indonesia seperti iklim panas dan lembab, maka variabel-variabel iklim yang terkait dengan kenyamanan termal dapat di teliti sebagai pengendali iklim mikro dalam bangunan (*indoor*).

Penelitian terhadap lingkungan termal pada bangunan juga menjadi salah satu topik yang penting yang berhubungan dengan iklim tropis lembab, misalnya penelitian terhadap kualitas lingkungan dalam ruangan (*indoor environmental quality* (IEQ) pada iklim mikro di iklim tropis panas dan lembab. Kualitas lingkungan dalam ruangan (IEQ) mengacu pada kualitas lingkungan pada bangunan dalam kaitannya dengan kesehatan dan kesejahteraan orang-orang yang menempati ruang di dalamnya. IEQ ditentukan oleh banyak faktor yaitu termal, kualitas pencahayaan, kualitas udara, kebisingan (akustik), dan ergonomis ruang.

Penelitian mendatang hendaknya juga menggunakan metode campuran (*mix-methods*) untuk menganalisis hasil keterterimaan termal dan analisis simulasi termal pada bangunan sebagai metode dari penelitian, agar hasil yang didapat lebih valid dan lengkap serta akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1,2] Karyono, Tri Harso. 2010. "Kenyamanan Termal dalam Arsitektur Tropis." *Research Gate, article*.
- [3] Nugroho, Agung Cahyo. 2011. "Sertifikasi Arsitektur/Bangunan Hijau: Menuju Bangunan yang Ramah Lingkungan." *JA! UBL* 2 (1). <http://jurnal.ubl.ac.id/index.php/ja/article/view/297>.
- [4] Szokolay, Steven V 2008. *Introduction to Architectural Science*, Routledge, Pub. Location London Built Environment, eBook ISBN 9780080878942, DOI. <https://doi.org/10.4324/9780080878942>
- [5] ASHRAE, ANSI. 2010. Standard 55-2020. "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".ASHRAE, Atlanta USA.
- [6] Snyder, James C.; Hendro Sangkoyo; Anthony J. Catanese. 1984. *Pengantar Arsitektur*. Penerbit Erlangga, Jakarta, Edisi 4.
- [7] Höppe, Peter. 2002. "Different Aspects of Assessing Indoor and Outdoor Thermal Comfort." *Energy and buildings* 34 (6): 661-665.
- [8] Rilatupa, James. 2008. "Aspek Kenyamanan Termal Pada Pengkondisian Ruang Dalam " *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS* Volume 18 Nomor 3: 191-198. <http://jurnalindustri.petra.ac.id/index.php/emas/article/view/17637>
- [9,12] Lippsmeier, Georg. 1994. *Tropical Building*. Translated by Syahmir Nasution, Erlangga, Jakarta.
- [10] 03-6572, SNI. 2001. "Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung".
- [11] Parsons, Ken, 2019. *Human Thermal Comfort Built Environment, Engineering & Technology*, 1st Edition, Pub. Location Boca Raton, Imprint CRC Press, eBook ISBN9780429294983, Pages 148, DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429294983>
- [13] Latifah, Nur Laela, Harry Perdana, Agung Prasetya, and Oswald PM Siahaan. 2013. "Kajian Kenyamanan Termal pada Bangunan Student Center Itenas Bandung." *REKA KARSA* 1 (1). [https://doi.org/ https://doi.org/10.26760/rekakarsa.v1i1.43](https://doi.org/https://doi.org/10.26760/rekakarsa.v1i1.43).
- [14,19] Setyowati, Erni. 2015. *Fisika Bangunan 2 Thermal dan Acoustic*.

- [15] Talarosha, Basaria. 2009. "Menciptakan Kenyamanan Termal Dalam Bangunan." *Jurnal Sistem Teknik Industri* Volume 6 No. 3 (4): 148-158. <https://doi.org/http://www.academia.edu/download/51947470/sti-jul2005-26.pdf>.
- [16] Chairiyah, Riri. 2017. "Aplikasi Kenyamanan Termal Pada Bangunan Arsitektur Biomikiri Untuk Mendukung Efisiensi Energi (Studi Kasus bangunan Watercube dan Eastgate Centre) " *Prosiding seminar nasional energi efficient for sustainable living* November 2017: 87-101. <http://smartfad.ukdw.ac.id/index.php/smart/article/view/81>.
- [17] Sugini. 2004. "Pemaknaan Istilah- Istilah Kualitas Kenyamanan Thermal Ruang Dalam Kaitan Dengan Variabel Iklim Ruang." *LOGIKA* Volume 1 Nomor 2: 3-17. <http://journal.uji.ac.id/index.php/index/oai>.
- [18] Fanger, P. O. 1982. *Thermal comfort*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- [19] Rahman, Akbar, and Unlam Banjarbaru. 2011. "Kajian Empat Tipe Penangkal Radiasi Matahari Terhadap Efektivitas Pola Pembayangan di Fasade Barat Bangunan, Studi Kasus Rumah Tinggal di Kota Banjarmasin." *Jurnal Tesa* 9.
- [20] Irfandi, Irfandi. 2009. "Pengaruh Iklim Dalam Perancangan Arsitektur." *NALARs* 8 (1).
- [21] Szokolay, Steven V 2008. *Introduction to Architectural, Part 1 Heat: the thermal environment Science*, Routledge, Pub. Location London Built Environment, eBook ISBN 9780080878942, page 5. DOI. <https://doi.org/10.4324/9780080878942>
- [22] Koenigsberger, H.G, 2014. *Book: Early Modern Europe 1500-1789*. 1st Edition. eBook Published 16 July 2014. London, ImprintRoutledge. eBook ISBN9781315838113. DOI <https://doi.org/10.4324/9781315838113>
- [23] Szokolay, S. V. (1987). *Thermal design of buildings*: RAIA Education Division.
- [24] Lippsmeier, G. (1994). *Tropical Building*.
- [25] Talarosha, B. (2009). *Menciptakan Kenyamanan Termal Dalam Bangunan*. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, Volume 6 No. 3(4), 148-158. doi: <http://www.academia.edu/download/51947470/sti-jul2005-26.pdf>.
- [26] Rahim, Ramli, Baharuddin Hamzah, Rosadi Mulyadi, Nurul Jamala, and Asniawaty Kusno. 2017. "Temperatur dan Kelembaban Relatif Udara Outdoor."
- [27] Sahabuddin, Baharuddin Hamzah, Ihsan. 2014. "Pengaliran Udara Untuk Kenyamanan Termal Ruang Kelas Dengan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics." *SINEKTIKA* Volume 12 Nomor 2 Tahun 2014: 1-8. <http://journals.ums.ac.id/index.php/sinektika/article/viewFile/1438/988>.
- [28] Widiyananto, Eka. 2019. "Pengaruh suhu permukaan ruang luar terhadap kecepatan dan arah angin di kawasan jatiwangi square." *Jurnal Arsitektur* 11 (1): 13-13.
- [29] Arjani, IAMS. 2011. "Kualitas udara dalam ruang kerja." *Jurnal Skala Husada* 8 (2).
- [30] Fardiaz, Srikandi. 1992. *Polusi air dan udara*. Kanisius.
- [31] Utami, Fitriyah Nurul Hidayati, Kaswanto Kaswanto, and Akhmad Arifin Hadi. 2008. "Penerapan Konsep Bangunan Ramah Lingkungan melalui Konstruksi Green Panel sebagai alternatif Peningkatan Kenyamanan dalam Ruang." *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 13 (3): 204-212. <http://lppm.ipb.ac.id>.
- [32] Mangunwijaya, Y. B., (2000), *Pengantar Fisika Bangunan*, Djambatan, Jakarta.
- [33] Rahim, R., Hamzah, B., Mulyadi, R., Jamala, N., & Kusno, A. 2017. "Temperatur dan Kelembaban Relatif Udara Outdoor".
- [34] Satwiko, Prasasto. 2009. "Pengertian kenyamanan dalam suatu bangunan." *Yogyakarta, Wignjosobroto*.
- [36] Szokolay, S. V. (1987). *Thermal design of buildings*: RAIA Education Division.
- [37] Szokolay, S.V, (1980), *Environmental Science Handbook for Architects and Engineers*, New York, John Willey & Sons.
- [38] Feriadi, H., & Wong, N.H. 2004. *Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia*. *Energy and Buildings*, 36 (7): 614-626. DOI:10.1016/j.enbuild.2004.01.011
- [39] McIntyre, D.A, 1980. "Indoor Climate" , Applied Science.
- [40] Darwin. (2019). *Perbandingan Laju Metabolisme Basal Menurut Status Berat Badan Atlet Karate Kota Makassar*. FIK,
- [41] Devi, E. (2016). *Pola Penataan Ruang Panti Jompo Berdasarkan Aktivitas Dan Perilaku Penghuninya*. ARTEKS: *Jurnal Teknik Arsitektur*, 1(1), 31-48. Makassar." FIK.

- [42] Latifah, N. L., Perdana, H., Prasetya, A., & Siahaan, O. P. (2013). Kajian Kenyamanan Termal pada Bangunan Student Center Itenas Bandung. *REKA KARSA*, 1(1). doi: <https://doi.org/10.26760/rekakarsa.v1i1.43>
- [43] Mangunwijaya, Y. B., (2000), Pengantar Fisika Bangunan, Djembatan, Jakarta.
- [44] Boutet, Terry S. 1987. *Controlling Air Movement*. New york : McGraw-Hill , 1987.
- [45] Latifah, N. L., Perdana, H., Prasetya, A., & Siahaan, O. P. (2013). Kajian Kenyamanan Termal pada Bangunan Student Center Itenas Bandung. *REKA KARSA*, 1(1). doi: <https://doi.org/10.26760/rekakarsa.v1i1.43>
- [46] Yahya Lavafpour (2012) Towards New Approaches for Integrating Principles of Precedent Architecture into Energy Efficient Buildings in Hot-Dry Climate. (Original Scientific Article Approval Date 14-05-2012, Energy Efficiency Natural Energy Vernacular Principles Architectural Design Strategy).
- [47] Latifah, Halawa, E., & Van Hoof, J. (2013). The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. *Energy and Buildings*, 51, 101-110. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.04.011>
- [48] Baharuddin, Muhammad Taufik Ishak, Syarif Beddu, & M. Yahya. 2012. Kenyamanan Termal Gedung Kuliah Bersama Kampus Baru Fakultas Teknik Universitas Ha sanuddin *san121212. RefNo: B.4.4*
- [49] Binarti, Floriberta, Hanson E Kusuma, Surjamanto Wonorahardjo, and Sugeng Triyadi. 2018. "Peranan Unsur-Unsur Ruang Terbuka pada Tingkat Kenyamanan Termal Outdoor: Antara Persepsi dan Pengetahuan." <https://doi.org/https://doi.org/10.24002/jars.v12i1.1645>.
- [50] Diana Susilowati, Feri Wahyudi. 2014. "Kajian Pengaruh Penerapan Arsitektur Tropis Terhadap kenyamanan Termal Pada Bangunan Publik Menggunakan Software Ecotech (Studi kasus: Perpustakaan Universitas Indonesia) " *Jurnal Desain Konstruksi* 13 Nomor 2 (2): 22-34.
- [51] Rilatupa, James. 2008. "Aspek Kenyamanan Termal Pada Pengkondisian Ruang Dalam " *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS* Volume 18 Nomor 3: 191-198. <http://jurnalindustri.petra.ac.id/index.php/emas/article/view/17637>
- [52] Kusumo, Damayanti Asikin & Beta Suryo. 2010. "Pengaruh Bentuk dan Konstruksi Atap Terhadap Kenyamanan Thermal Pada Rumah Tinggal Kolonial di Kota Malang " *SEMINAR NASIONAL FTSP-ITN MALANG*: 8.
- [53] Napier, John. 2015. "Climate Based Façade Design for Business Buildings with Examples from Central London." *Buildings* 5 (1): 16-38. <https://doi.org/10.3390/buildings5010016>.
- [54] Rifai, Listya Dewi, Seni HJ Tongkukut, and Slamet Suyitno Raharjo. 2014. "Analisis Intensitas Radiasi Matahari di Manado dan Maros." *Jurnal MIPA* 3 (1): 49-52.
- [55] Rahman, Akbar, and Unlam Banjarbaru. 2011. "Kajian Empat Tipe Penangkal Radiasi Matahari Terhadap Efektivitas Pola Pembayaran di Fasade Barat Bangunan, Studi Kasus Rumah Tinggal di Kota Banjarmasin." *Jurnal Tesa* 9.
- [56] Zatibayani, Putri Nabila, Agung Murti Nugroho, and Herry Santosa. 2015. "Pengaruh Shading Devices terhadap Penerimaan Radiasi Matahari Langsung pada Fasad Gedung Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya." *Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur* 3 (4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>.
- [57] Rahmawati, Rahmawati, Arif Kamaludin Firdaus Akbar, and Fathia Khairunnisa Agustin. 2016. "Pengaruh Alami Terhadap Sistem Ventilasi Terhadap Kenyamanan Termal Rumah Susun Industri Dalam." *REKA KARSA* 4 (1). <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/rekakarsa/article/view/1377>.
- [58] Ilman Basthian, S. 2015. "Pengaruh Desain Bukaana Pada Selubung Bangunan Terhadap Efisiensi Energi Pada Rumah Susun Sederhana Sewa." <https://jurnalonline.itenas.ac.id/index.php/rekakarsa/article/view/628>.
- [59] Qurrotul A'yun, Puspita Cahya Wati, Muhammad Choirul Khafidz 2018. "Eksplorasi Disain Ventilasi Ruang Kuliah Untuk Mencapai Kenyamanan Termal " *EMARA – Indonesian Journal of Architecture* Vol 4 No 2 - December 2018 (4): 119-125.
- [60] Madina, Rizki Fitria, Annisa Nurriszka, and Dea Ratna Komala. 2013. "Pengaruh Desain Fasade Bangunan Terhadap Kondisi Pencahayaan Alami dan Kenyamanan Termal (Studi

- Kasus: Campus Center Barat ITB)." *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI*.
<http://www.academia.edu/download/35387173/>.
- [61] Mahdavinejad, Jamaledin Mahdinejad . Mohammadjavad. 2014. "Thermal Behavior of Double Skin Buildings " *Journal of Energy Technologies and Policy* Vol.4, No.9, 2014
<http://www.iiste.org>.
- [62] Talarosa, b. 2005. Menciptakan Kenyamanan Termal. *Jurnal Sistem Teknik Industri* Volume 6, No. 3 Juli 2005. <https://www.researchgate.net/publication/42362832>
- [63] Mircea P.M., Dinu R.C., Popescu N., Buzatu G.C. 2014. "Monitoring and Analysis of Thermal Confort Paramaters in a Living Room of A Buildings " *Journal og Sustainable Energy* Vol. 5, N0. 1, March, 2014
- [64] Aslani, Alireza, Asieh Bakhtiar, and Mohammad Hadi Akbarzadeh. 2019. "Energy-efficiency technologies in the building envelope: Life cycle and adaptation assessment." *Journal of Building Engineering* 21: 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.09.014>.
- [65] Sarinda, Arlik, Sudarti Sudarti, and Subiki Subiki. 2017. "Analisis Perubahan Suhu Ruangan Terhadap Kenyamanan Termal di Gedung 3 FKIP Universitas Jember." *Jurnal Pembelajaran Fisika* 6 (3): 312-318. <https://doi.org/https://doi.org/10.19184/jpf.v6i3.5329>.
- [66] Munawaroh, Ai Siti, and Rivena Elbes. 2019. "Persepsi Pengguna Terhadap Kenyamanan Termal Pada Bangunan Perpustakaan Ibi Darmajaya Lampung." *Arsitektur dan Perencanaan* Vol 2, No 2 September. <https://ejournal.unisayogya.ac.id/ejournal/index.php/JUARA/index>.
- [67] Skoog, J., Fransson, N., & Jagemar, L. 2005. Thermal environment in Swedish hospitals: Summer and winter measurements. *Energy and Buildings*, 37(8), 872-877.
- [68] Alvesson, M., & Sandberg, J. 2013. *Constructing Research Questions: Doing Interesting Research*. London: Sage Publications Ltd . ISBN: 978-1446255933
- [69] Khovalyg, D., Kazanci, O. B., Halvorsen, H., Gundlach, I., Bahnfleth, W. P., Toftum, J., & Olesen, B. W. 2020. "Critical review of standards for indoor thermal environment and air quality". *Energy and Buildings*, 213, 109819.
- [70] Lan, L., Tsuzuki, K., Liu, Y. F., & Lian, Z. W. 2017. "Thermal environment and sleep quality: A review". *Energy and Buildings*, 149, 101-113.

<http://www.scribd.com/doc/30574112/Artikel-Fisika-Bangunan-Thermal>. Diakses 17 Juli 2021