

Daftar Pustaka

- 03-6572, SNI. 2001. "Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung".
- ASHRAE, ANSI. 2010. Standard 55-2020. "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".ASHRAE, Atlanta USA.
- Arjani, IAMS. (2011). "Kualitas udara dalam ruang kerja." *Jurnal Skala Husada* 8 (2).
- 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.jobe.2018.09.014>.
- Alvesson, M., & Sandberg, J. (2013). *Constructing Research Questions: Doing Interesting Research*. London: Sage Publications Ltd . ISBN: 978-1446255933
- Baharuddin, Muhammad Taufik Ishak, Syarif Beddu, & M. Yahya. (2012). Kenyamanan Termal Gedung Kuliah Bersama Kampus Baru Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin *san121212. Ref No: B.4.4*
- 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>.
- Boutet, Terry S. 1987. *Controlling Air Movement* . New york : McGraw-Hill , (1987).
- 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>.
- Darwin. (2019). *Perbandingan Laju Metabolisme Basal Menurut Status Berat Badan Atlet Karate Kota Makassar*. FIK,
- Devi, E. (2016). Pola Penataan Ruang Panti Jompo Berdasarkan Aktivitas Dan Perilaku Penghuninya. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 1(1), 31-48. Makassar." FIK.
- 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.
- Fardiaz, Srikandi. (1992). *Polusi air dan udara*. Kanisius.
- Fanger, P. O. (1982). *Thermal comfort*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- 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
- Höppe, Peter. 2002. "Different Aspects of Assessing Indoor and Outdoor Thermal Comfort." *Energy and buildings* 34 (6): 661-665.
- Irfandi, Irfandi. (2009). "Pengaruh Iklim Dalam Perancangan Arsitektur." *NALARs* 8 (1).
- Stokolay, Steven V 2008. *Introduction to Architectural, Part 1 Heat: the thermal environment Science*, Routledge, Pub. Location London Built Environment, eBook N 9780080878942, page 5. DOI. <https://doi.org/10.4324/9780080878942>



- 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>.
- Karyono, Tri Harso. (2010). "Kenyaamanan Termal dalam Arsitektur Tropis." *Research Gate, article*.
- Kusumo, Damayanti Asikin & Beta Suryo. 2010. "Pengaruh Bentuk dan Konstruksi Atap Terhadap Kenyaamanan Thermal Pada Rumah Tinggal Kolonial di Kota Malang " *SEMINAR NASIONAL FTSP-ITN MALANG*: 8.
- Kaswanto, and Akhmad Arifin Hadi. (2008). "Penerapan Konsep Bangunan Ramah Lingkungan melalui Konstruksi Green Panel sebagai alternatif Peningkatan Kenyaamanan dalam Ruang." *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 13 (3): 204-212. <http://lppm.ipb.ac.id>.
- 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.
- Lan, L., Tsuzuki, K., Liu, Y. F., & Lian, Z. W. 2017. "Thermal environment and sleep quality: A review". *Energy and Buildings*, 149, 101-113.
- Koenigsberger, H.G, (2014). *Book: Early Modern Europe 1500-1789*. 1st Edition. eBook Published 16 July 2014. London, Imprint Routledge. eBook ISBN 9781315838113. DOI <https://doi.org/10.4324/9781315838113>
- Koenigsberger, Otto.H. 1975, *Manual of Tropical Housing an Building Climatic Design*. Longman
- 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>
- Latifah, N. L., Perdana, H., Prasetya, A., & Siahaan, O. P. (2013). *Kajian Kenyaamanan Termal pada Bangunan Student Center Itenas Bandung*. REKA KARSA, 1(1). doi: <https://doi.org/10.26760/rekakarsa.v1i1.43>
- Lippsmeier, Georg. 1994. *Tropical Building*. Translated by Syahmir Nasution, Erlangga, Jakarta.
- Latifah, Nur Laela, Harry Perdana, Agung Prasetya, and Oswald PM Siahaan. (2013). "Kajian Kenyaamanan Termal pada Bangunan Student Center Itenas Bandung." *REKA KARSA* 1 (1). <https://doi.org/10.26760/rekakarsa.v1i1.43>.
- Parsons, Ken, (2019). *Human Thermal Comfort Built Environment, Engineering & Technology*, 1st Edition, Pub. Location Boca Raton, Imprint CRC Press, eBook ISBN 9780429294983, Pages 148, DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429294983>
- Qurrotul A'yun, Puspita Cahya Wati, Muhammad Choirul Khafidz 2018. "Eksplorasi Disain Ventilasi Ruang Kuliah Untuk Mencapai Kenyaamanan Termal " *EMARA – Indonesian Journal of Architecture* Vol 4 No 2 - Desember 2018 (4): 119-125.
- 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.
- i, Rahmawati, Arif Kamaludin Firdaus Akbar, and Fathia Khairunnisa Agustin. (2016). "Penghawaan Alami Terkait Sistem Ventilasi Terhadap Kenyaamanan Termal Rumah Susun Industri Dalam." *REKA KARSA* 4 (1). <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/rekakarsa/article/view/1377>.



- Rahim, R., Hamzah, B., Mulyadi, R., Jamala, N., & Kusno, A. (2017). "Temperatur dan Kelembaban Relatif Udara Outdoor".
- 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>
- 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.
- 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>.
- Sarinda, Arlik, Sudarti Sudarti, and Subiki Subiki. (2017). "Analisis Perubahan Suhu Ruang 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>.
- Snyder, James C.; Hendro Sangkoyo; Anthony J. Catanese. (1984). Pengantar Arsitektur. Penerbit Erlangga, Jakarta, Edisi 4.
- Satwiko, Prasasto. 2009. "Pengertian kenyamanan dalam suatu bangunan." *Yogyakarta, Wignjosoebroto*.
- Setyowati, Erni. (2015). *Fisika Bangunan 2 Thermal dan Acoustic*.
- Sugini. 2004. "Pemaknaan Istilah- Istilah Kualitas Kenyamanan Thermal Ruang Dalam Kaitan Dengan Variabel Iklim Ruang." *LOGIKA* Volume 1 Nomor 2: 3-17. <http://journal.uui.ac.id/index.php/index/oai>.
- Szokolay, Steven V., (2008). Introduction to Architectural Science, Routledge, Pub. Location London Built Environment, eBook ISBN 9780080878942, DOI. <https://doi.org/10.4324/9780080878942>
- Szokolay, S. V. (1987). Thermal design of buildings: RAIA Education Division.
- Szokolay, S.V, (1980), Environmental Science Handbook for Architects and Engineers, New York, John Willey & Sons.
- Szokolay, S. V. (1987). Thermal design of buildings: RAIA Education Division.
- 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.
- 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>.
- Talarosa, b. (2005). Menciptakan Kenyamanan Termal. *Jurnal Sistem Teknik Industri* Volume 6, No. 3 Juli 2005. <https://www.researchgate.net/publication/42362832>
- Mangunwijaya, Y. B., (2000), Pengantar Fisika Bangunan, Djambatan, Jakarta.
- 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>.
- og, J., Fransson, N., & Jagemar, L. 2005. Thermal environment in Swedish hospitals: Summer and winter measurements. *Energy and Buildings*, 37(8), 872-



- 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/>.
- 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>.
- 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
- McIntyre, D.A, (1980)." Indoor Climate" , Applied Science.
- 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>.
- 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>.
- 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>
- Widiyananto, Eka. (2019). "Pengaruh suhu permukaan ruang luar terhadap kecepatan dan arah angin di kawasan jatiwangi square." *Jurnal Arsitektur* 11 (1): 13-13.
- 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).
- 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>. <http://www.scribd.com/doc/30574112/Artikel-Fisika-Bangunan-Thermal>. Diakses 17 Juli 2022



BAB IV

ANALISIS LINGKUNGAN TERMAL PADA BANGUNAN DENGAN ELEMEN AIR DAN LANSEKAP SEBAGAI PENGUBAH IKLIM MIKRO DI IKLIM TROPIS PANAS DAN LEMBAB

Judul tersebut diatas merupakan topik penelitian kedua yang terbit pada IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (ICOSIET-SENVAR 2022) IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/1157/1/012008 dengan judul “*Analysis of Thermal Environmental in Buildings with Water and Landscape Elements as Microclimate Modifiers in Hot and Humid Tropical Climates*”

4.1. Abstrak

Kondisi termal pada bangunan dipengaruhi oleh kondisi iklim dan ditentukan oleh kinerja termal dari bangunan itu sendiri. Kondisi termal tersebut disebabkan oleh adanya perpindahan aliran panas antara lingkungan dan bangunannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar nilai suhu, kelembaban, radiasi matahari, dan kecepatan angin dengan keberadaan elemen air dan lansekap sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan serta kenyamanan termal terhadap adaptasi perilaku pengunjung. Fokus penelitian pada elemen air dan sensasi lingkungan termal dengan obyek bangunan pusat perbelanjaan modern Nipah Mall. Penelitian lapangan berdasarkan pada standard ASHRAE 55 2020 dan ISO 7730. Digunakan pengukuran empat parameter lingkungan, yakni suhu, kelembaban, radiasi matahari, dan kecepatan udara. Data diperoleh melalui pengukuran lapangan dengan metode kuantitatif melalui analisis indeks kenyamanan termal *Predicted Mean Vote (PMV)*, *Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)* dan *Standard Effective Temperature (SET)*. Data diolah dengan pendekatan statistik kemudian di simulasikan dengan data numerik 2 dimensi menggunakan software *Thermal Comfort Tool (CBE)* setelah itu di bandingkan dengan indeks kenyamanan termal. PMV, PPD, dan SET yang dihasilkan dan mengacu pada standard ASHRAE 55-2020. Sedangkan sensasi lingkungan termal berdasarkan adaptasi perilaku dianalisis berdasarkan hasil dari jawaban kuesioner menggunakan *thermal sensation vote (TSV)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis lingkungan termal dalam konteks iklim mikro dalam bangunan, kenyamanan termal serta elemen air dan lansekap merupakan potensi penting yang dapat meningkatkan nilai positif, meningkatkan kualitas, dan menjaga kestabilan iklim mikro pada bangunan maupun skala kawasan dan perlu dilakukan kontrol dan adaptif pada bangunan seperti pengaturan elemen air dan sistem ventilasi bangunan sehingga memberikan efek pendinginan pasif pada bangunan.



Keywords: Lingkungan termal; elemen air; iklim mikro; pengubah; adaptasi perilaku

4.2. Pendahuluan

Fungsi utama dari arsitektur adalah mampu menciptakan lingkungan hidup yang lebih baik. Hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan unsur-unsur iklim yang ada seperti angin, suhu udara, kelembaban, dan radiasi matahari, sehingga manusia dapat memperoleh kenyamanan yang di harapkan. Kenyamanan termal memiliki berbagai macam faktor yang mempengaruhi terciptanya kepuasan manusia seperti suhu lingkungan, radiasi matahari, kelembaban udara, kecepatan angin, pakaian dan aktifitas ASHRAE 55 [1]. Sementara menurut Lippsmeier [2], 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 baik.

Adapun menurut Latifah et al [3], 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.

Desain bangunan memperhatikan aspek orientasi bangunan terhadap matahari dan laju angin, dimensi dan bentuk bangunan, susunan massa bangunan, material bangunan, hingga tipe konstruksi bangunan. Aspek desain bangunan tersebut akan mempengaruhi faktor kenyamanan termal berupa radiasi matahari, kecepatan angin, suhu dan kelembaban udara (Setyowati [4]).

Iklim mikro, atau yang disebut sebagai *micro-climate*, merupakan suatu kondisi iklim pada ruang yang sangat terbatas, yang diukur dalam ambang batas kurang lebih setinggi 2 meter dari permukaan tanah. Iklim mikro merupakan bentukan ruang iklim yang terdapat pada Lingkungan dengan skala terbatas yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti lingkungan alam maupun buatan, seperti peletakan vegetasi, penggunaan paving, elemen alamiah seperti air, tanah. Pengaruh yang dibentuk dari faktor-faktor tersebut mengarah pada suhu udara, suhu permukaan tanah, kecepatan arah angin, intensitas sinar matahari yang diterima oleh permukaan bangunan, dan kelembaban udara. (Soegijanto [5]).

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

medung ataupun hujan. Kondisi daya dukung iklim terutama temperatur dan kelembaban relatif udara di ruang luar bangunan tidak sepenuhnya dapat tercapai dengan penerapan system pengkondisian pasif untuk mencapai kenyamanan dalam ruangan (Rahim et al. [6]). 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%. Untuk mengimbangi kondisi kelembaban yang tinggi ini dibutuhkan kecepatan angin yang cukup di dalam ruang. Beberapa faktor yang mempengaruhi kelembapan udara (Rahim et al.[7] yaitu: suhu, tekanan udara, pergerakan angin, kuantitas dan kualitas penyinaran/radiasi matahari, vegetasi, ketinggian tempat, kerapatan udara, dan ketersediaan air.

Air sebagai elemen dalam arsitektur dapat di analisis dengan berbagai cara dan sudut pandang dalam mendefinisikan suatu ruang. Analisis dilakukan pada air, karena air memainkan peran penting sebagai elemen dalam desain arsitektur dan aspek-aspek yang dipisahkan sebagai efek fisik, dimensi dan sensorik (pendengaran, visual, sentuhan dan tekstur). Elemen air mendefinisikan ruang sesuai dengan ukuran, penempatan dan proporsinya.

Dalam bukunya *Water and Architecture*, Charles W. Moore [8] mengatakan bahwa kapanpun arsitek menggunakan air sebagai elemen desainnya, mereka seolah seperti membuka sebuah peti harta yang berisikan variasi karakteristik fisik, mitos, ataupun makna kiasan, yang bisa digunakan untuk meningkatkan kualitas desain mereka. Karena dalam mempelajari hubungan elemen air dan arsitektur, kita tidak akan pernah lepas dari sifat-sifat air itu sendiri, yang banyak menyimpan makna mitos ataupun kiasan dari masa lalu [9].

Penggunaan air sebagai elemen dalam arsitektur dapat memberikan elemen kehidupan terhadap karya arsitektur itu sendiri, terutama penggunaan elemen air yang bergerak, diam atau mengalir. Menurut Moore and Lidz, [10], Simbolisme air sebagai elemen desain merupakan interaksi dinamis antara bangunan dan air, padat dan cair, tegak dan datar.

Beberapa penelitian sebelumnya yang membahas tentang elemen air sebagai pengubah lebih banyak kajian yang mengarah pada lingkungan luar maupun pada courtyard bangunan (elemen lansekap) dan modifier elemen air dalam komposisi arsitektural dalam bangunan khususnya di iklim tropis lembab (Indonesia) berbeda dengan di iklim dingin (Eropa) terutama dalam hal kelembaban udara serta penelitian elemen air dengan fungsi termal analisisnya bersifat kualitatif (Siti Abadiyah [11].

Dalam penelitian Hendrawati,[12] menyimpulkan bahwa elemen air mempunyai peran penting bagi pengendalian iklim mikro ruang. Dengan adanya elemen air sangat berpengaruh pada kondisi kelembaban udara dan suhu ruang. Keberadaan air membuat kelembaban udara naik sehingga menurunkan suhu ruang.

Penelitian (Hamzah et al.,13] pengaruh faktor kecepatan angin pada kenyamanan termal sangat berpengaruh terhadap sensasi kenyamanan termal dalam ruangan kelas.

pusat perbelanjaan modern (Nipah mall) yaitu salah satu mall di kota Makassar, Nipah Mall Makassar merupakan kawasan superblok



pusat perbelanjaan modern bertingkat dan pusat perkantoran. Orientasi bangunan mengarah Utara – Selatan dengan site menyerupai bentuk trapesium dengan ukuran bangunan 220 x 428 m². Pada area rooftop terdapat area terbuka dan dienuhi dengan tanaman peneduh, sedangkan di tengah bangunan selain sebagai area publik juga terdapat kolam dan air terjun. Penempatan elemen tanaman terdapat pada sisi Utara dan Selatan, tanaman merambat pada area selasar maupun pada area sekitar Kolam. Pada bagian penutup atap bangunan di gunakan membran semi transparan dan sebagian lagi terbuka. Dengan orientasi tersebut dan pemakaian membran semi transparan sehingga luas bidang yang menerima pancaran radiasi matahari secara langsung semakin besar di terima oleh bangunan, olehnya itu pada siang hari suhu udara naik sampai 27,5°C – 30,2°C dan terjadi peningkatan kelembaban sampai 75%. (Nurfai'ni, SJ, Yeptadian Sari [14].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar nilai suhu, kelembaban, radiasi matahari, dan kecepatan angin dengan keberadaan elemen arsitektur berupa air dan lansekap sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan serta kenyamanan termal terhadap adaptasi perilaku pengunjung.

Atas dasar pertimbangan, maka kebaruan yang diharapkan dalam penelitian ini adalah temuan indikator, aspek elemen air dan lansekap sebagai pengubah iklim mikro yang berpengaruh terhadap temperatur/suhu, kecepatan udara, kelembaban relatif, dan sensasi termal dalam ruang.

4.3. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode survey dan pengukuran, dengan studi kasus bangunan pusat perbelanjaan modern Nipah Mal Makassar. Studi kasus berkaitan dengan kenyamanan lingkungan termal berdasarkan pada aspek iklim serta sensasi kenyamanan termal berdasarkan adaptasi perilaku dengan obyek elemen air dalam bangunan.

Fokus obyek penelitian yang diamati berupa elemen air sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan, lingkungan termal, dan sensasi kenyamanan termal yang mengintegrasikan faktor lingkungan dan adaptasi perilaku. Obyek elemen air dan tanaman dalam Penelitian terletak pada lantai lower ground (*Mezzanine floor*) dan lantai 5.



Eksternal b. Hobo MX2302. c. Hobo UX100. d. Data Logger RC-5. e. Anemometer

Gambar 15 Alat Pengukuran obyektif



Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat HOBO UX100-023A External Temp/RH data logger, Hobo MX2302 series data Logger, RC-5 temperature data logger dan Anemometer digital (gambar 12). Pengukuran dan pengambilan kuisioner di lakukan selama 3 (tiga) hari berturut-turut dengan rentang waktu penukuran mulai pagi (jam 09-00 – 12.00), siang hari (jam 13.00 – 14.00), dan sore hari (jam 15.00-17.00). Parimeter jarak terhadap obyek pengukuran terdiri dari 5 (lima) titik Pengukuran dengan jarak 2, 5, 10, 20, dan 25 meter.

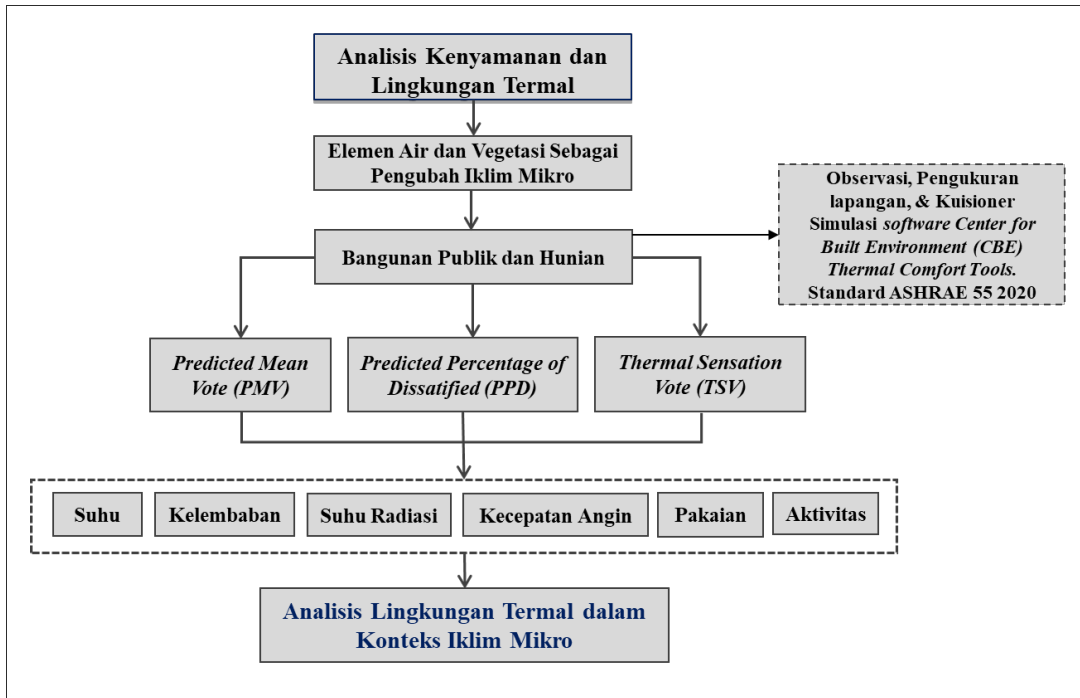
Analisis data lingkungan termal yang diamati menurut standard ASHRAE 55-2020 dan ISO 7730 untuk melihat temperatur efektif (TE), PMV dan PPD yang diolah menggunakan software Thermal Comfort Tool (CBE) setelah itu di bandingkan dengan indeks kenyamanan termal. PMV, PPD, dan SET yang dihasilkan dan mengacu pada standard ASHRAE 55-2020. (Mamesa, C; Purwanto, L.M.F, [15]. Standar ASHRAE 55-2020 yang mempunyai 7 kriteria yaitu, sangat dingin (-3), sejuk/dingin (-2), agak sejuk (-1), netral (0), agak hangat/panas (+1), panas (+2), panas sekali (+3). Selanjutnya untuk pemaknaan sensasi termal berdasarkan pada skala kesan/sensasi termal (thermal sensation), digunakan kuisioner yang di berikan bersamaan pada saat pengukuran. Selanjutna analisis suhu operatif ruang yang diperoleh dengan regresi linear kemudian di deskripsikan dengan model Scatter diagram.



Gambar 16 Denah titik Pengukuran

Pengumpulan data pengukuran suhu/temperatur udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin dilakukan berdasarkan pada parimeter jarak terhadap obyek elemen air dalam ruangan yang telah ditentukan seperti terlihat pada gambar 16.





Gambar 17 Alur pikir penelitian

4.4. Hasil dan Pembahasan

Lokasi bangunan berada di Provinsi Sulawesi Selatan, Kota Makassar di jalan Urip Sumoharjo. Bangunan pusat perbelanjaan modern (Nipah mall) yaitu salah satu mall terbesar di kota Makassar, Nipah Mall Makassar merupakan kawasan superblok pusat perbelanjaan modern bertingkat dan pusat perkantoran, bangunan yang terletak sebelah Timur dari wilayah administrasi Kota Makassar ini dibangun di atas lahan seluas 121,426 m² dengan luas tanah 3,5 Ha. Untuk area mall memiliki luas area 74,352 m² dan luas area office sendiri yaitu 15,440 m². Nipah Mall & Office Building yang dilengkapi berbagai fasilitas ini memiliki 6 lantai untuk area mall dan 10 lantai untuk area office, dengan kapasitas area parkir sebanyak 1.200 lot dan tersedia di masing-masing lantai. Bentuk topografi tapak menyerupai bentuk trapesium, mengikuti bentuk alami site dengan memanfaatkan kontur setinggi 1 meter. Terdapat vegetasi pada bagian depan dan belakang tapak termasuk vegetasi dalam bangunan. Pada rooftop terdapat area terbuka yang berfungsi sebagai taman dan roof garden serta rain collector dan rain harvesting. Penutup atap bagian atas bangunan terdapat membrane semi transparan yang dapat menahan radiasi matahari dan berfungsi sebagai untuk pencahayaan alami. Material dalam bangunan menggunakan material ekspos sebagai material utama berupa concrete beton, kayu, metal, dan bata terracotta. Sistem pencahayaan dan penghawaan lebih banyak menggunakan sistem alamiah. Penghawaan buatan menggunakan AC sentral hanya pada ruang-ruang tenant. Terdapat bukaan pada tapak bangunan pada sisi sebelah kiri sebagai penghawaan dan pencahayaan alami. Penghawaan alami terbesar berada di bagian Utara dan Selatan bangunan merupakan akses pintu masuk dan keluar dalam bangunan. Terdapat profil



besi yang melekat pada dinding depan bangunan sebagai kulit kedua bangunan. Keunggulan lain dari Nipah Mall selain menyajikan konsep yang berbeda, mall ini juga menyediakan publik area dengan luasan kurang lebih 19.700 m².



Gambar 18 Lokasi Obyek Penelitian

Pada area ini terdapat kolam dan air terjun buatan yang merupakan miniatur dari air terjun Bantimurung. Dalam Penelitian ini elemen air dalam bangunan berupa air terjun buatan dan kolam. Tinggi air terjun buatan terdiri dari tinggi air terjun 1 ± 15 m, air terjun 2 ± 18m, dan air terjun 3 ± 22 m. Volume kolam pada saat terisi penuh ± 31.92 m³. Pengoperasian air terjun buatan secara otomatis setiap hari pada jam 12.00 – 14.00 dan 15.00 – 17.00.



Gambar 19 Posisi kolam, tanaman, dan air terjun buatan lantai LG dan Lantai 5

Pada Gambar 19 terlihat eksisting penempatan tanaman pada area lantai LG berada pada area sekitar kolam, dan pintu masuk sisi Utara sementara pada lantai 5 di semua titik pengukuran terdapat vegetasi dan tidak ada kolam air.

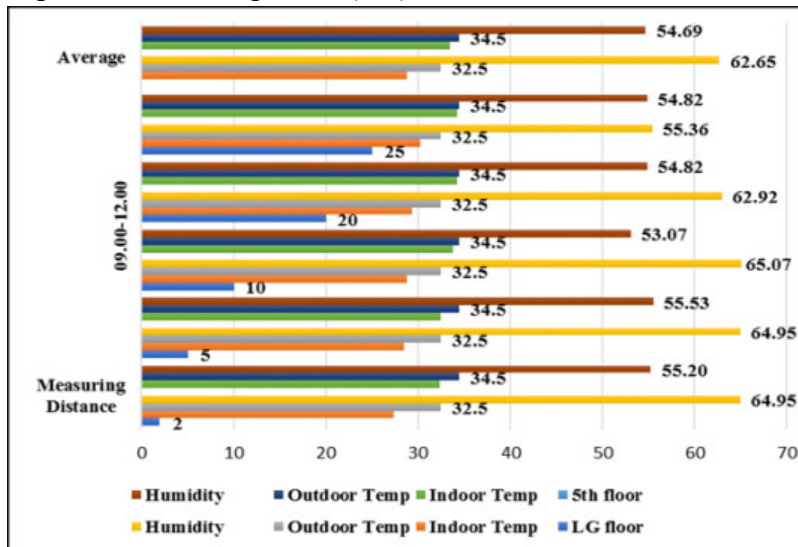
Tanaman hias yang tumbuh hijau membentang dibagian depan sampai belakang juga terlihat hijau, seirama dengan bangunannya yang memang mengedepankan konsep arsitektur. Area lansekap berupa vegetasi (*softscape*) yaitu tanaman pada sirkulasi utama pejalan kaki menunjukkan adanya pelindung dari panas akibat radiasi matahari. Jenis vegetasi yang digunakan adalah pada area lantai 5 di gunakan pohon bertajuk besar sebagai pohon pelindung dan peneduh dan ditempatkan di sekeliling area rooftop sementara pada lantai LG penempatan vegetasi berupa elemen lunak yang meliputi bunga, tanaman, semak, pohon, dan sebagainya.

Analisis Suhu/Temperature dan Kelembaban

a bangunan Mall Nipah Makassar memiliki orientasi bangunan yang terhadap iklim yang ada di daerah tersebut, karena pada bangunan Mall kasar sisi terpanjang pada fasad bangunan menghadap ke arah Utara dan

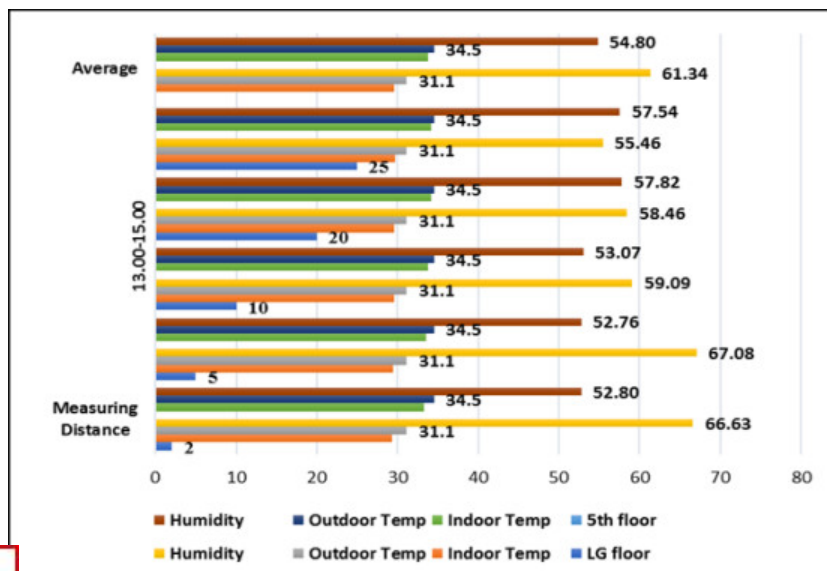


Selatan. Pada grafik di bawah terlihat Pengukuran rata-rata suhu temperature dalam ruangan, luar ruangan, dan kelembaban, dengan titik ukur, jarak, dan waktu. Pengukuran pada area lower ground (LG) dan lantai 5.



Gambar 20 Grafik hubungan titik ukur, jarak pengukuran ruang, iklim dan waktu pengukuran jam 09.00-12.00 WITA

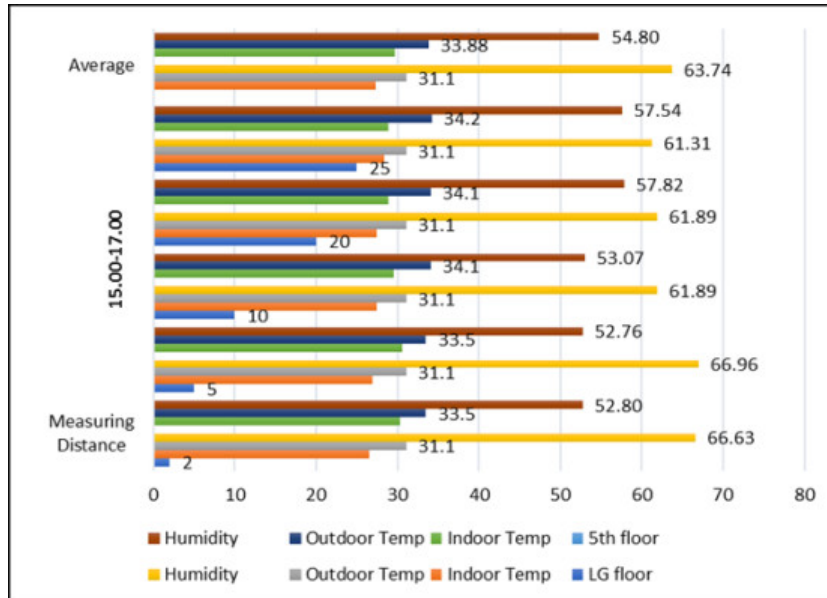
Pengukuran pada jam 09.00 – 12.00 (gambar 5) Lantai LG dan lantai 5 dengan 5 titik ukur pengamatan dapat di lihat suhu minimum - maksimum berkisar antara 27.32 – 30.2°C sehingga suhu rata-rata pada lantai LG 29.82°C, kelembapan 62.65% dan suhu luar ruangan berkisar 32.5°C, sedangkan pada lantai 5 suhu minimum – maksimum berkisar antara 32.3 – 34.2°C sehingga suhu rata-rata 33.4°C, kelembapan 54.69%, dan suhu luar ruangan berkisar antara 33.8 - 34.2°C pada jam 09.00 – 12.00 Wita.



Gambar 21 Grafik hubungan titik ukur, Jarak pengukuran ruang, iklim dan waktu pengukuran jam 13.00 – 15.00 Wita



Pada Gambar 21 dengan pengukuran jam 13.00 – 15.00 Lantai LG dan lantai 5 dengan 5 titik ukur pengamatan dapat di lihat suhu minimum - maksimum berkisar antara 29.3 – 29.7°c sehingga suhu rata-rata pada lantai LG 29.54°C, kelembapan 61.34% dan suhu luar ruangan berkisar 31.15°C, sedangkan pada lantai 5 suhu minimum – maksimum berkisar antara 33.5 – 34.2°c sehingga suhu rata-rata 33.82°C, kelembapan 54.80%, dan suhu luar ruangan berkisar antara 34.0 - 34.5°C.



Gambar 22 Grafik hubungan titik ukur, Jarak pengukuran ruang, iklim dan waktu pengukuran jam 15.00 – 17.00 WITA

Pada gambar 22 dengan pengukuran jam 15.00 – 17.00 Lantai LG dan lantai 5 dengan 5 titik ukur pengamatan dapat di lihat suhu minimum - maksimum berkisar antara 26.6 – 28.4°C sehingga suhu rata-rata pada lantai LG 27.38°C, kelembapan 63.74% dan suhu luar ruangan berkisar 31.10°C, sedangkan pada lantai 5 suhu minimum – maksimum berkisar antara 28.9 – 30.3°C sehingga suhu rata-rata 29.66°C, kelembapan 54.80%, dan suhu luar ruangan berkisar antara 33.0 - 33.8°C.

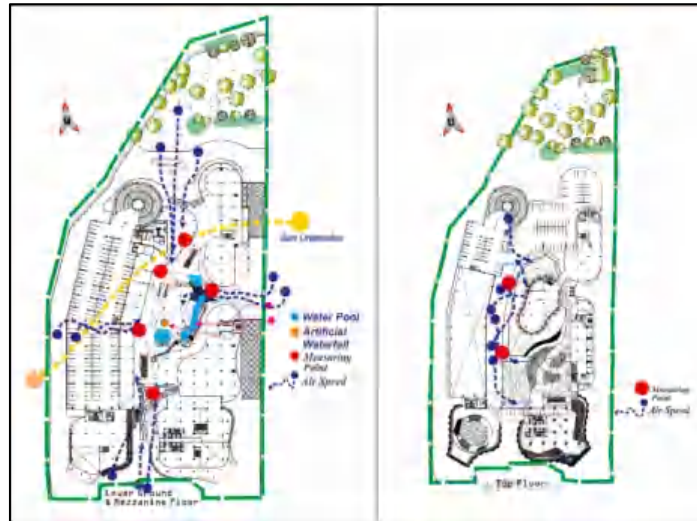
4.4.2. Analisis Kecepatan Angin

Pengukuran kecepatan angin di sekitar area LG (*lower ground dan mezzanine floor*) dan lantai 5 Nipah Mall dengan menggunakan peralatan Air Flow Anemometer. Pengukuran dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 4 titik ukur yaitu sisi Utara, Selatan, Timur, dan Barat. Pengukuran kecepatan angin di dalam bangunan diperlukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap lingkungan termal dengan obyek elemen air sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan.

Angin yang datang dari arah Timur maupun yang datang dari arah Barat, memberikan porsi yang sama untuk dapat masuk ke dalam ruang yang terbuka ke arah Utara dan Selatan. Bila posisi ruang penelitian menghadap ke arah Timur atau Selatan, kecepatan angin yang masuk pada pagi sampai sore hari lebih besar dibandingkan dengan posisi ruang yang berada di Timur atau Barat bangunan. Sementara



sisi yang menghadap ke arah Timur dan Barat pergerakan udara kecil karena tertutup oleh dinding ruang dan bukaan hanya akses pintu masuk. Pergerakan udara di sekitar dan dalam bangunan dari hasil pengukuran di lapangan dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 23 Pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada area Lantai LG dan Lantai 5

Dengan arah orientasi bangunan menghadap Utara – Selatan (gambar 19) maka pergerakan udara di sekitar bangunan dan di dalam bangunan Nipah Mall pada pagi hari hingga siang hari bergerak dari arah Timur ke Barat bangunan dan arah Selatan ke arah Utara bangunan. Sementara pada siang hari hingga sore, angin bergerak dari Arah Barat ke Arah Timur bangunan serta dari arah Utara ke Arah Selatan bangunan.

Pergerakan udara di sekitar dan di dalam bangunan serta area top floor dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini.

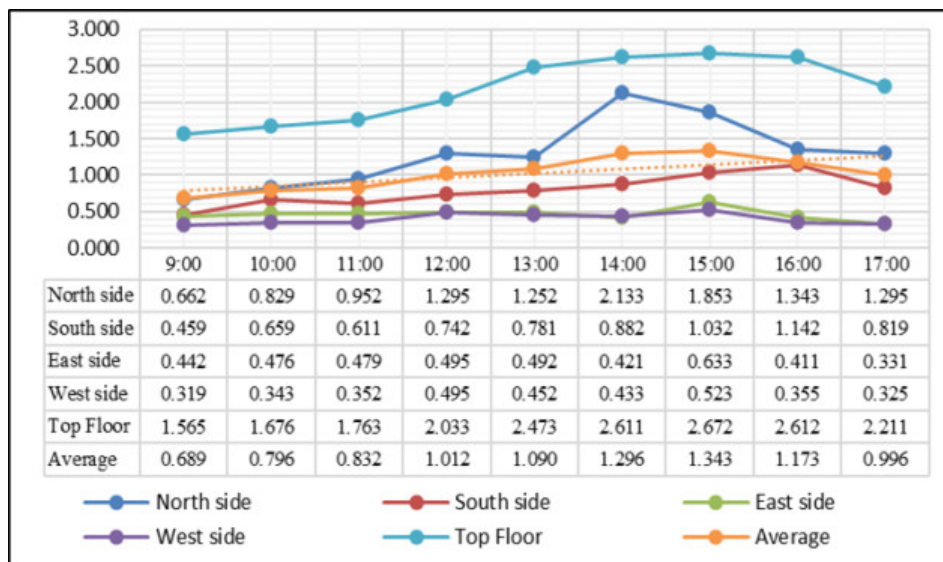
Tabel 8. Pergerakan udara dan waktu pengukuran kecepatan angin pada area lower ground dan top floor Nipah Mall

Lokasi	Titik Ukur	Waktu Pengukuran							
		9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
Lower Ground									
Sisi Utara	1	0.662	0.829	0.952	1.295	1.252	2.133	1.853	1.343
Sisi Selatan	2	0.459	0.659	0.611	0.742	0.781	0.882	1.032	1.142
Sisi Timur	3	0.442	0.476	0.479	0.495	0.492	0.421	0.633	0.411
Sisi Barat	4	0.319	0.343	0.352	0.495	0.452	0.433	0.523	0.355
Rata-Rata		0.470	0.576	0.599	0.757	0.745	0.967	1.010	0.813
Top Floor	5	1.565	1.676	1.763	2.033	2.473	2.611	2.672	2.612

Lokasi	Titik Ukur	Waktu Pengukuran	Rata Rata
Lower Ground		17:00	Rata Rata
Sisi Utara	1	1.295	1.291
Sisi Selatan	2	0.819	0.792
Sisi Timur	3	0.331	0.465
Sisi Barat	4	0.325	0.400
Rata-Rata		0.693	0.737
Top Floor	5	2.211	2.180



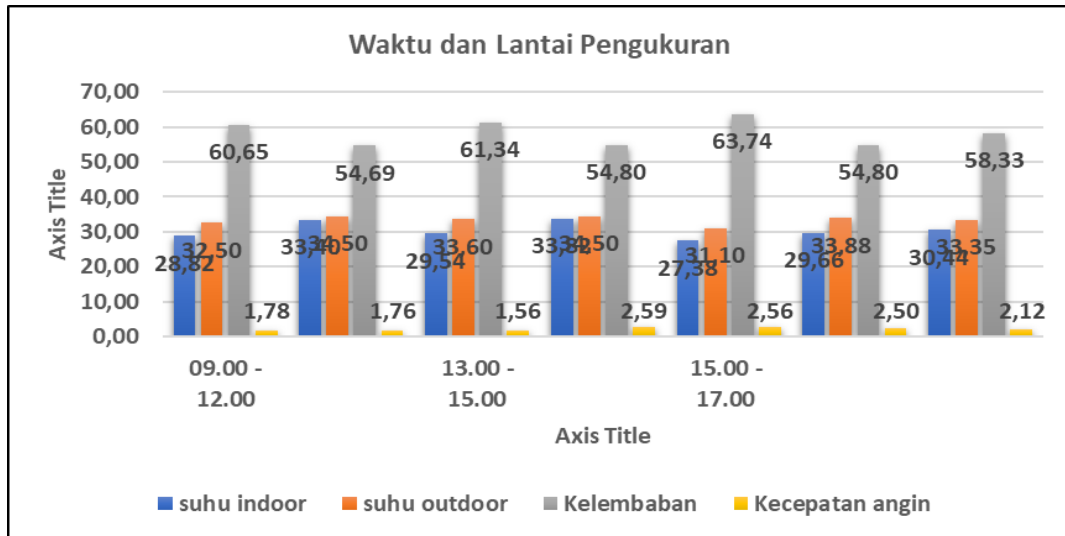
Tabel 8 terlihat kecepatan angin (V) rata-rata di dalam area lower ground pada pagi hingga sore hari cenderung tinggi sebesar 0,737 m/s. Sisi Utara bangunan merupakan area pergerakan udara lebih besar hingga mencapai rata-rata 1.291 m/s dan sisi Selatan sebesar 0.792 m/s. Besarnya pergerakan udara pada sisi Utara dan Selatan di sebabkan karena akses pintu masuk dan keluar serta bukaan ventilasi yang agak besar. Pergerakan udara pada area Top floor yang masuk masuk kedalam bangunan cukup tinggi sebesar 2.180 m/s, hal ini karena terdapat bukaan pada area tersebut. Selanjutnya pergerakan udara dalam bangunan pada siang hari cukup tinggi sebesar 0.757 – 1.010 m/s dan menjelang sore hari kecepatan angin bergerak turun menjadi 0,693 m/s. Hal ini sesuai dengan keadaan kecepatan angin global dimana kecepatan angin akan dirasakan kencang pada siang hari, sedangkan pada pagi hari angin cenderung berubah-ubah arah maupun kecepatannya. Hal ini dikarenakan terjadinya peralihan pergerakan udara dari arah Barat ke Timur. Sedangkan pada sore hari kecepatan angin menurun dimana terjadinya pergerakan udara dari Timur berbalik arah ke Barat.



Gambar 24 Grafik hubungan suhu/temperature, kelembaban, dan kecepatan angin pada area Lantai LG dan Lantai 5

Gambar 24 memperlihatkan bahwa kecepatan angin pada arah Utara – Selatan, Timur – Barat, serta pada area top floor bangunan meningkat pada siang hari sebesar 1.010 m/s menjadi berkurang ketika angin melalui koridor luar lantai 8 bangunan (0,544 m/det). Selanjutnya kecepatan angin semakin berkurang ketika angin sampai ke dalam ruang (0,044 m/det). Pengurangan kecepatan angin ini disebabkan karena terjadinya gesekan (friksi) ketika angin mengenai dinding-dinding bangunan dan saat angin melewati koridor luar bangunan dan selanjutnya angin melewati ventilasi menuju ke dalam ruang.





Gambar 24 Grafik hubungan suhu/temperature, kelembaban, dan kecepatan angin pada area Lantai LG dan Lantai 5

Gambar 24 memperlihatkan grafik bahwa terdapat perbedaan suhu/temperature, radiasi matahari, kelembaban dan kecepatan angin pada pengamatan lantai LG dan lantai 5 bahwa pada pengukuran jam 09.00 – 12.00 WITA lantai LG dan lantai 5 suhu dan kelembapan rendah serta kecepatan angin rata-rata 1.78 m/s selanjutnya pada pengukuran jam 13.00–15.00 suhu/temperature meningkat antara 29.54 - 33.82°c dan kecepatan angin tinggi sampai 2.59 m/s sedangkan pada jam pengukuran 15.00 – 17.00 suhu dan kelembapan berangsur turun mencapai 27.38 - 29.66°c dengan kelembaban 54.80% - 63.74% serta kecepatan angin antara 2.50 – 2.56 m/s.

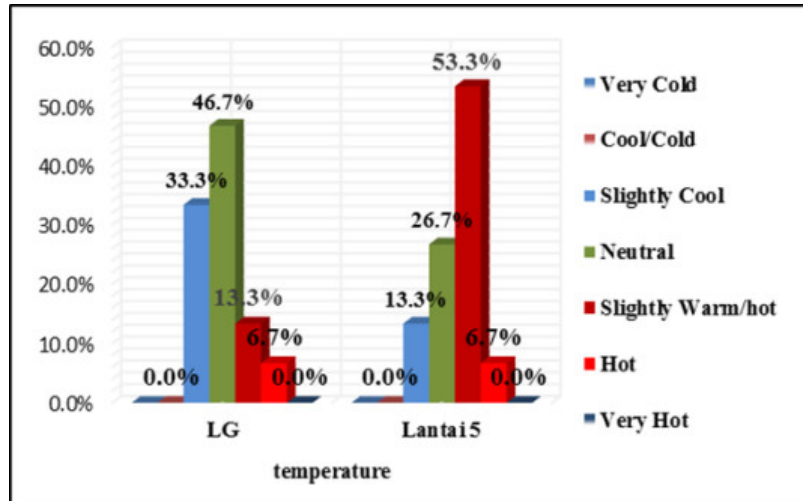
Pada lantai 5 dititik pertama sampai titik ukur kelima terdapat vegetasi tapi tidak ada air, akan tetapi suhu dan kelembapannya naik turun disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu pada titik objek pertama suhu dan kelembapan sangat tinggi karena sedikitnya vegetasi, tidak adanya atap, dan ruang terbuka yang langsung terpapar sinar matahari, pada titik ukur kedua suhu dan kelembapan agak tinggi karena vegetasi tidak terlalu banyak dan ruangnya terbuka, pada titik ukur ketiga suhu dan kelembapan agak rendah karena adanya vegetasi dan ruang sedikit tertutup, pada titik ukur keempat dan kelima suhu dan kelembapan rendah karena banyaknya vegetasi dan ruang sedikit tertutup.

4.4.3. Analisis Sensasi Kenyamanan Lingkungan Termal

Pengambilan data kuisisioner pada adalah Lantai LG dan lantai 5 (*rooftop*). Hasil kuisisioner yang disebar n=30 responden yang memiliki umur dengan rentang 17-29 tahun 13 orang, kemudian rentang 30-45 tahun 17 orang dengan mayoritas adalah perempuan. Sebanyak 23 responden merupakan seorang pelajar mahasiswa, 7 responden merupakan seorang karyawan. Aktifitas di lakukan berbelanja, makan, dan jalan-jalan. Umumnya responden berpakaian karakteristik responden berupa tinggi badan dengan rentang 150-159 cm



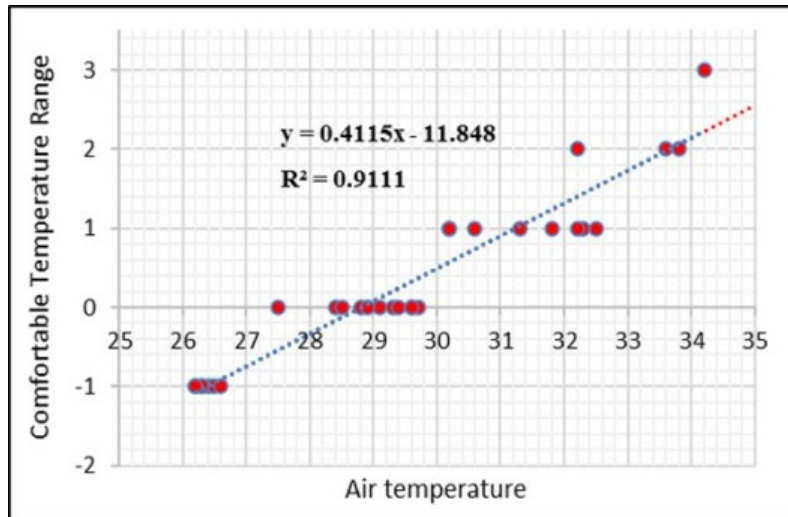
sebanyak 8 orang, tinggi badan 160-169 cm 17 orang, dan terakhir dengan rentang 170-179 cm sebanyak 5 orang. Pada survei menggunakan kuisioner yang di sebar kepada pengunjung dengan ketentuan sebagai berikut yaitu responden di pilih secara acak, rentan waktu antara jam 09.00 – 17.00, responden tidak memakai jenis baju yang tebal seperti sweater dan sejenisnya sehingga angka tahanan pakaian adalah 0.6 clo, dan responden dengan aktivitas berdiri, berjalan, makan, dan berbelanja sehingga angka metabolic rate diambil 1.2 met, sehingga hasil penyebaran kuisioner seperti terlihat pada gambar 22 berikut ini.



Gambar 25 Grafik Scatter Plot hasil Pengukuran sensasi termal responden pada area Lantai LG dan Lantai 5

Dari gambar 25 memperlihatkan bahwa sensasi kenyamanan termal pada lantai LG 33.3% responden menyatakan sejuk, 46.7% menyatakan netral atau tidak dingin dan tidak panas, sementara 13.3% menyatakan agak sedikit panas, dan responden yang menyatakan panas sekitar 6.7%. Selanjutnya pengambilan kuisioner pada lantai 5 responden yang menyatakan agak dingin atau sejuk sekitar 13.3%, yang menyatakan agak panas 53.3%, sementara responden yang menyatakan netral 26.7%, serta yang menyatakan panas 6.7%. Dari hasil tersebut dapat di kategorikan bahwa pada area lantai LG pilihan responden tertinggi pada berada pada area 0 (netral) sedangkan pada lantai 5 pilihan responden tertinggi pada area +1 (agak panas). Indeks sensasi termal pada kedua lantai ini sesuai dengan hasil pengukuran lapangan bahwa pada lantai LG suhu/temperature berkisar antara 27.38 – 29.54°C dengan kelembaban rata-rata 61.58%, dan pada lantai 5 suhu berkisar antara 29.66 – 33.81°C dengan kelembaban 54.76%. Dengan hasil tersebut dapat di analisis sensasi termal responden terhadap suhu (suhu udara dan suhu operasi) secara garis regresi linier sebagai berikut.





Gambar 26 Grafik prosentase hasil Pengukuran sensasi termal responden pada area Lantai LG dan Lantai 5

Dari grafik data yang di dihasilkan memperlihatkan bahwa suhu nyaman/netral = 0, di mana responden merasa nyaman di capai pada angka 28.6°C suhu/temperature udara (Ta) dengan rentang suhu nyaman responden antara -1 dan 0, sehingga batas di mana responden merasa sangat nyaman (batas bawah) pada angka 26.4°C suhu udara dan batas atas pada angka 30.8°C suhu udara.

Tabel 9. Hasil Persamaan Regresi

Regression Statistics	
Multiple R	0.954505159
R Square	0.911080099
Adjusted R Square	0.907904388
Standard Error	0.322086765
Observations	30

Tabel 9 memperlihatkan hasil persamaan regresi linear dengan nilai $y=0.4115x-11.848$ dan korelasi $R^2= 0.9111$ menjelaskan bahwa suhu udara dengan rentang suhu nyaman adalah 0.954, dimana angka ini masuk dalam kategori sangat kuat hubungan korelasinya, sedangkan nilai koefisien determinasi 0.907 atau 90.79% yang berarti bahwa suhu udara (X) dapat menganalisis rentang suhu nyaman seseorang (Y) sebesar 90.79%.

4.4.4. Analisis Prediksi Kenyamanan Lingkungan Termal Berdasarkan PMV, PPD, dan SET

Kondisi termal ruang merupakan parameter-parameter lingkungan yang mempengaruhi tingkat kenyamanan pengguna ruang. Parameter-parameter tersebut meliputi suhu ruang (T_a ;C), suhu radiasi (T_r ;C) kecepatan pergerakan udara (v , m/s), kelembaban udara relatif (rh ,%). Pengukuran parameter-parameter lingkungan ruang dalam tersebut diukur bersamaan dengan pelaksanaan survey



dimana responden diminta untuk merespon terhadap kondisi Lingkungan termal yang mereka rasakan pada saat tersebut.

PMV merupakan index yang memperkirakan respon sekelompok besar manusia pada skala sensasi termal ASHRAE berikut; +3 hot (panas), +2 warm (hangat), +1 slightly warm (agak hangat), 0 neutral (netral), -1 slightly cool (agak sejuk), -2 cool (sejuk), dan -3 cold (dingin). Nilai PMV (Predicted Mean Vote) menentukan jangkauan sensasi yang dirasakan orang terhadap lingkungan. Nilai nol adalah netralitas termal tapi bukan berarti kenyamanan termal. Analisis Kenyamanan lingkungan termal berdasarkan pada indeks PMV, PPD, dan SET di olah dan di simulasikan menggunakan *software Center for Built Environment (CBE) Thermal Comfort Tools*. Fitur software ini mampu membandingkan dua atau tiga skenario kenyamanan lingkungan termal (*compare tool*) sehingga dapat memprediksi kenyamanan lingkungan termal, menghemat sejumlah besar energi, dan menilai desain yang nyaman dengan komsumsi energi rendah. Hasil Pengukuran lapangan kemudian di simulasikan dengan software CBE maka nilai PMV, PPD, dan SET seperti terlihat pada tabel berikut ini.

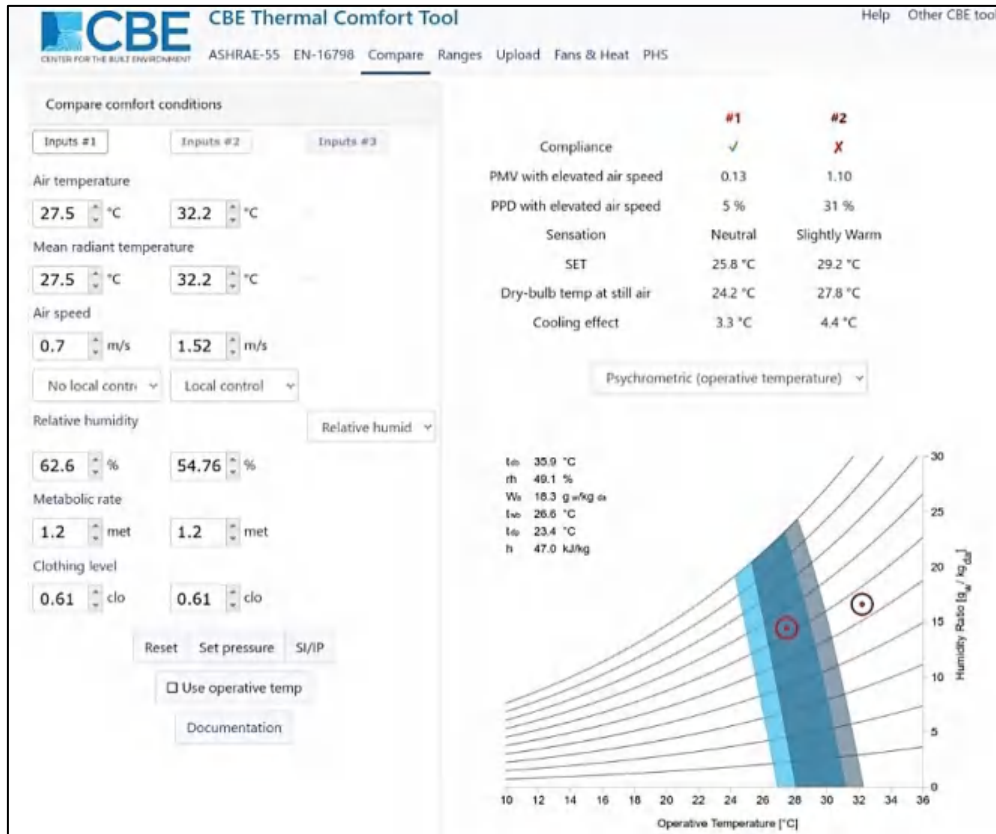
Tabel 10. Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE thermal comfort

Data/Waktu Pengukuran	Lantai LG			Lantai 5		
	09.00-12.00	12.00-15.00	15.00-17.00	09.00-12.00	12.00-15.00	15.00-17.00
PMV	0.15	0.37	0.10	1.42	1.45	0.23
PPD	5%	8%	7%	47%	48%	6%
SET	25.8	26.6	23.8	30.4	30.5	26.0

Tabel 10 memperlihatkan bahwa nilai PMV, PPD, dan SET pada lantai ukur dan pada setiap waktu ukur terdapat perbedaan yang signifikan, pada jam 09.00 – 12.00 lantai LG (netral) sedangkan lantai 5 (agak hangat), kemudian jam pengukuran 12.00 – 15.00 lantai LG (netral) sedangkan lantai 5 (agak hangat), selanjutnya jam pengukuran 15.00-17.00 lantai LG (netral) dan lantai 5 (netral). Hal ini berarti bahwa pada lantai LG dengan waktu pengukuran mulai jam 09.00 – 17.00 sesuai dengan standard ASHRAE 55-2020 dengan nilai rata-rata SET sebesar 25.4°C sedangkan pada lantai 5 dengan waktu Pengukuran jam 09.00 – 15.00 tidak sesuai dengan standard ASHRAE 55 – 2020 dengan nilai rata-rata SET 29°C. Pada lantai 5 nilai SET 30.5°C dan menurun pada posisi netral pada jam 15.00-17.00 dengan nilai SET 26.0°C, ini berarti standard ASHRAE 55-2020 pada jam 09.00 – 15.00 tidak di terima dan pengunjung merasa tidak nyaman (+1 - +1.5).

Perbandingan nilai PMV, PPD, dan SET antara lantai LG dan Lantai 5 di an menggunakan software CBE terlihat pada gambar Psychrometrik i.





Gambar 27 Nilai perbandingan PMV hasil Pengukuran sensasi termal responden pada area Lantai LG dan Lantai 5
<https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798>

Pada gambar 27 dapat dilihat bahwa nilai PMV pada setiap waktu ukur dan pada setiap titik ukur lantai LG (input#1) dan lantai 5 (input#2). Pada lantai LG input#1 lebih cenderung ke netral (0). Nilai PMV berada pada nilai 0,13, PPD 5%, dan SET 25.8°C. Nilai PMV cenderung sejuk ke netral pada saat pagi hari dan cenderung agak sejuk ke agak hangat pada jam 15.15 sampai dengan jam 16.15. Suhu udara, Temperatur efektif, kelembaban udara, kecepatan angin, manusia, dan kegiatan sangatlah berpengaruh pada nilai PMV. Berdasarkan ASHRAE Standart 55 – 2020 terdapat kondisi yang dapat diterima sebagai kondisi yang nyaman yakni nilai PMV berkisar antara -0,5 sampai dengan +0,5, sedangkan pada lantai 5 input#2 lebih cenderung agak hangat (+1) dimana nilai PMV sebesar 1.10, nilai PPD 31%, dan nilai SET 29.2°C. Nilai PMV dari netral pada pagi hari, dan cenderung agak hangat pada siang menjelang sore hari. Berdasarkan standard ASHRAE 55 terdapat kondisi yang tidak nyaman yakni nilai PMV berada pada +1 sampai +1.5.



Impulan

Analisis lingkungan termal pada penelitian ini menunjukkan bahwa pada waktu pengukuran suhu, suhu radiasi, kelembaban, dan kecepatan angin berpengaruh dalam mengendalikan iklim mikro dalam ruang. Ruangan

yang dekat dengan elemen air dan lansekap akan lebih nyaman secara termal dibandingkan dengan ruangan yang jauh dari air dan lansekap. Kenaikan suhu maksimal hanya terjadi pada jam 13.00 – 15.00, sementara suhu rata-rata 28.58°C. Untuk dua lantai pengukuran (LG dan lantai 5) suhu rata-rata 30.4°C, kelembaban rata-rata 58.33%, dan kecepatan angin rata-rata 2.12 m/s sehingga nilai keterterimaan termal PMV, PPD, dan SET berdasarkan *thermal comfort tools* (CBE) ASHRAE Standard 55 – 2020 pada lantai LG terdapat kondisi yang dapat diterima sebagai kondisi yang nyaman yakni nilai PMV berkisar antara -0,5 sampai dengan +0,5, sedangkan pada lantai 5 nilai PMV 1.45, nilai PPD 48%, dan nilai SET 30.5°C dan menurun pada posisi netral pada jam 15.00-17.00 dengan nilai SET 26.0°C, ini berarti standard ASHRAE 55 pada jam 09.00 – 15.00 tidak di terima dan pengunjung merasa tidak nyaman (+1 - +1.5). Dalam persamaan regresi linear terhadap responden memperlihatkan bahwa suhu nyaman/netral = 0, di mana responden merasa nyaman di capai pada angka 28.6°C suhu/temperature udara (Ta) dengan rentang suhu nyaman responden antara -1 dan 0, sehingga batas di mana responden merasa sangat nyaman (batas bawah) pada angka 26.4°C suhu udara dan batas atas pada angka 30.8°C suhu udara. Persamaan regresi linear dengan nilai $y=0.4115x-11.848$ dan korelasi $R^2= 0.9111$ menjelaskan bahwa suhu udara dengan rentang suhu nyaman adalah 0.954, dimana angka ini masuk dalam kategori sangat kuat hubungan korelasinya, sedangkan nilai koefisien determinasi 0.907 atau 90.79% yang berarti bahwa suhu udara (X) dapat menerima rentang suhu nyaman seseorang (Y) sebesar 90.79%.

Dengan keberadaan elemen arsitektural berupa air dan elemen lansekap seperti pohon dan vegetasi dapat di gunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari. Keberadaan lansekap secara langsung maupun tidak langsung akan menurunkan suhu udara di sekitar bangunan, karena radiasi matahari akan di serap untuk proses fotosintesis dan penguapan serta efek bayangan yang di timbulkan oleh lansekap akan menghalangi pemanasan permukaan bangunan dan tanah di bawahnya.

Berdasarkan hal tersebut analisis lingkungan termal dalam konteks iklim mikro dalam bangunan, kenyamanan termal serta elemen air dan lansekap merupakan pengkondisian lingkungan dengan model modifikasi udara luar yang panas masuk kedalam bangunan. Olehnya itu untuk menciptakan lingkungan termal dalam bangunan maka faktor modifikasi elemen arsitektural menjadi perhatian yang lebih terhadap penyelesaian masalah kestabilan iklim pada skala mikro maupun skala kawasan atau perkotaan.

References



- [3] Latifah, N. L., Perdana, H., Prasetya, A. & Siahaan, O. P. 2013. 'Kajian Kenyamanan Termal pada Bangunan Student Center Itenas Bandung'. REKA KARSA, 1.
- [4] Setyowati, E. 2015. Fisika Bangunan 2 Thermal dan Acoustic.
- [5] Soegijanto. 1998. 'Bangunan di Indonesia Dengan Iklim Tropis Lembab Ditinjau Dari Aspek Fisika Bangunan'. Jakarta: Dirjen Dikti Depdiknas
- [6] Rahim, R., Asniawaty, M. T., Amin, S. & Hiromi, R. 2016. 'Karakteristik Data Temperatur Udara dan Kenyamanan Termal di Makassar'. Prosiding Temu Ilmiah IPLBI. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- [7] Rahim, R., Hamzah, B., Mulyadi, R., Jamala, N. & Kusno, A. 2017. 'Temperatur dan Kelembaban Relatif Udara Outdoor'.
- [8] Moore, C. W. & Lidz, J. 1994. Water and architecture, Thames and Hudson London.
- [9] Saberi, O.; Parisa Saneei, 2017, 'Thermal Comfort in Architecture', Shahid Bahesti Uni. Teheran. Iran.
- [10] Moore, C. W. & Lidz, J. 1994. Water and architecture, Thames and Hudson London.
- [11] Abadih, S. 2017. Efektifitas Desain Air Mancur Terhadap Lingkungan Sekitar Bundaran Gladag Surakarta. *Jurnal Teknik*, volume 4.
- [12] Hendrawati, D. 2016. 'Air Sebagai Alat Pengendali Iklim Mikro Dalam Bangunan'. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, Nomor 2, Volume 18, Juli 2016, hal: 97 – 106.
- [13] Hamzah, B., Gou, Z., Mulyadi, R. & Amin, S. 2018. 'Thermal Comfort Analyses of Secondary School Students in the Tropics'. *Buildings*, 8.
- [14] Nurfai'ni, SJ, Yeptadian Sari, 2021. 'Kajian Konsep Arsitektur Hijau Pada Bangunan Pusat Perdagangan Nipah Mall', *Journal of Architectural Design and Development*, Vol 02/No. 01, Juni 2021, e-ISSN: 2745-8784. DOI: 10.37253/jad.v2i1.4357.
- [15] Mamesa, C; Purwanto, L.M.F, 2022. 'Eksplorasi Software Cbe Thermal Comfort Tool Sebagai Perhitungan Kenyamanan Termal'. *Journal of Digital Architecture* Volume 1, No. 2, Maret 2022, hal. 90-97. e-ISSN: 2798-6896. DOI: 10.24167/joda.v1i2.4305

Website

<https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798> diakses tanggal 15 Juni 2022



BAB V

PERGERAKAN UDARA PADA LINGKUNGAN TERMAL DENGAN ELEMEN AIR DAN VEGETASI SEBAGAI PENGUBAH IKLIM MIKRO DALAM BANGUNAN

Topik penelitian ketiga berupa jurnal dengan judul “ *The Effect of Water and Vegetation Elements as Microclimate Modifiers in Buildings in Hot and Humid Tropical Climates*”, akan terbit pada Jurnal ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur, pada bulan Agustus 2023. Jurnal ARTEKS terindex SINTA 2.

5.1. Abstrak

Kenyamanan termal dalam bangunan di tentukan oleh beberapa aspek iklim, salah satu diantaranya adalah kecepatan angin yang berada di sekitar dan dalam bangunan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh elemen air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan untuk mendapatkan kenyamanan termal melalui kajian kecepatan dan aliran udara. Penelitian lapangan berdasarkan parameter iklim mikro. Studi meliputi dua kasus yakni ruang dalam bangunan hunian dan pusat perbelanjaan. Data diperoleh melalui pengukuran lapangan dengan metode kuantitatif melalui analisis indeks kenyamanan termal *Predicted Mean Vote (PMV)*, *Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)* dan *Thermal Sensation Vote (TSV)*. Analisis di lakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh air dan vegetasi dalam bangunan untuk kenyamanan dan lingkungan termal. Analisis data diolah dengan pendekatan statistik kemudian aliran udara di simulasikan dengan metode simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pergerakan udara yang terjadi di bangunan terhadap kenyamanan dan lingkungan termal dengan pemanfaatan elemen arsitektural dapat menurunkan suhu dan kelembaban dalam ruangan dari radiasi panas luar bangunan sehingga memberikan dampak pada temperatur udara efektif untuk sensasi termal pengunjung. Disimpulkan bahwa pergerakan udara dalam bangunan dengan penempatan elemen arsitektural berupa air, vegetasi, dan ventilasi yang baik, merupakan hal yang penting yang dapat memberi nilai positif, meningkatkan kualitas lingkungan dalam ruangan, menjaga kestabilan lingkungan termal pada skala bangunan, dan tercapainya sensasi termal yang nyaman.

Keywords: Lingkungan termal, iklim mikro, kecepatan angin, elemen air, vegetasi, CFD



ahuluan

n adalah udara yang bergerak yang disebabkan adanya gaya yang an perbedaan tekanan dan perbedaaan suhu (Satwiko 2009). Kecepatan

angin pada daerah beriklim tropis lembab cenderung sangat minim. Kecepatan angin umumnya terjadi pada siang hari atau pada musim pergantian. Peranan 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 tropis lembab diperlukan sirkulasi udara yang terus menerus. 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 dingin dan panas-lembab, karena pola tersebut dipertimbangkan untuk menghambat pengaruh hembusan angin dingin maupun angin yang membawa debu, khususnya di malam hari (Golany, 1995)

Pengukuran kondisi termal juga sering dilakukan dengan menggunakan temperatur efektif. 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 (Rahman, 2021).

Kenyamanan hanya dapat dicapai apabila pada suatu kondisi udara tertentu, terdapat suatu kecepatan angin tertentu yang mampu menghasilkan proses evaporasi yang seimbang (Ismardono 2017). Menurut (MD Krisna Adya Anindita 2022) bahwa kecepatan angin berhubungan erat dengan tingkat kepadatan bangunan yang ada pada lingkungan tersebut dan bentuk rumah beserta elemen pembentuknya.

Menurut Fanger, 1972 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.

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



Untuk memodifikasi udara luar yang terlalu panas masuk ke dalam bangunan dapat dilakukan dengan membuat air mancur di dalam bangunan. Dalam Penelitian (I Wayan Wirya Sastrawan, Mustika, dkk, 2018) menjelaskan bahwa berdasarkan hasil simulasi menunjukkan sebaran tingkat temperatur rendah berada disekitar areal kolam. Ini mengindikasikan bahwa penyejukan evaporasi oleh air berdampak signifikan pada penurunan temperature udara. 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 basah seperti di Indonesia yang memiliki kelembaban yang tinggi maka peningkatan kelembaban harus dihindarkan. Oleh sebab itu penggunaan unsur air harus mempertimbangkan adanya gerakan udara sehingga tidak terjadi peningkatan kelembaban (Hendrawati 2016).

Penelitian yang dilakukan (Latif, Hamzah dkk. 2016) (Sahabuddin, dkk 2014] pada ruang kelas gedung kuliah bersama Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Kabupaten Gowa, disimpulkan bahwa penambahan luas inlet dan outlet dengan rasio yang tepat pada ruang kelas, dapat mengoptimalkan sirkulasi udara untuk menciptakan kenyamanan termal. Menurut Maria Caroine, dkk. 2021 menyimpulkan bahwa desain passive cooling ruang kelas dipengaruhi oleh orientasi bukaan, iklim setempat, dan aliran udara pada bangunan sekitar.

Menurut Bayong dalam Rahim (2002), aliran udara merupakan faktor iklim yang penting dalam perencanaan. Kenyamanan suhu dalam ruangan akan berpengaruh langsung menaikkan temperature dan kelembaban, tanpa aliran udara membuat ruangan cepat jenuh dan menjadi tidak sehat karena konsentrasi CO₂ menjadi tinggi, serta oksigen menipis (kelembaban mendekati 100%) serta kecepatan udara mendekati 0 m/det, pada Kondisi semacam ini dapat di pastikan kenyamanan termal tidak dapat di capai, manusia dalam ruangan akan berkeringat, sementara keringat tidak dapat lagi menguap pada udara yang telah jenuh tanpa adanya kecepatan angin.

Analisis pengaruh luas bukaan ventilasi terhadap kenyamanan termal dan penghawaan alami akan dilakukan dengan menyimpulkan pengaruh luas bukaan terhadap kecepatan angin dalam bangunan disaat menyentuh kulit, di saat jendela tertutup dan terbuka, serta menyimpulkan apakah kecepatan angin tersebut memenuhi standar dalam bangunan. (John, dkk. 2010).

Dalam Penelitian yang di lakukan oleh (Rahmawati, Akbar, & Agustin, 2016), (Ilman Basthian, 2015), (Qurrotul A'yun, 2018) 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

at mempengaruhi kenyamanan dalam bangunan.
n mendesain sistem bukaan pada bangunan mencapai kenyamanan
perluken pengetahuan yang lengkap tentang sirkulasi udara di dalam
teknik simulasi dapat digunakan untuk mengestimasi temperatur dan



kecepatan udara di dalam ruangan. (Tahang 2016); (Nursulistiyono, dkk. 2019); (Albatayneh, dkk. 2018); (Permana and Sawab 2020)

Kenyamanan yang paling dominan pengaruhnya terhadap kenyamanan fisik manusia yang berada dalam bangunan adalah kenyamanan termal, meliputi temperatur udara, kelembaban dan kecepatan aliran udara. Menurut Satwiko (2003) kenyamanan termal daerah tropis lembab dapat dicapai dengan batas-batas $24^{\circ}\text{C} < T < 26^{\circ}\text{C}$, $40\% < \text{RH} < 60\%$, $0,6 < V < 1,5$ m/det, kegiatan santai, pakaian ringan dan selapis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh air dan elemen vegetasi dalam bangunan sebagai pengubah iklim mikro untuk kenyamanan dan lingkungan termal. Melalui penelitian ini manfaat yang didapatkan yaitu pengembangan sousti berkelanjutan yang menggabungkan aspek lingkungan, kenyamanan, dan efisiensi energi dan ramah lingkungan di wilayah tropis panas dan lembab. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pendekatan integratif yang menggabungkan kecepatan udara, elemen air, dan vegetasi dalam mempertimbangkan kualitas lingkungan termal di bangunan. Aspek kebaruan dapat mencakup pemahaman yang lebih baik tentang preferensi penghuni terkait dengan kecepatan udara, efek penyejuk evaporatif, dan dampak psikologis dari lingkungan termal yang ditingkatkan.

5.3. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode survey, pengukuran, dan simulasi dengan subyek penelitian adalah bangunan hunian (Hotel Maxone) dan pusat perbelanjaan modern (Mal Nipah). Kedua jenis bangunan ini berada pada wilayah Kota Makassar. Masing-masing bangunan mempunyai elemen arsitektural berupa air dan lansekap dengan perbedaan dan persamaan orientasi bangunan, tata letak, bukaan ventilasi, dan fasade bangunan. Fokus obyek penelitian yang diamati berupa elemen air dan lansekap sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan, lingkungan termal, dan sensasi kenyamanan termal yang mengintegrasikan faktor lingkungan dan adaptasi perilaku. Obyek elemen air dan landscape dalam Penelitian terletak pada lantai dasar.

Instrumen penelitian yang di gunakan adalah air flow Anemometer digital untuk mengukur kecepatan angin (gambar 1), alat HOB0 UX100-023A External Temp/RH data logger, Hobo MX2302 series data Logger, RC-5 temperature data logger untuk mengukur suhu/temperatur, suhu radiasi, dan kelembaban udara relatif (gambar 25).

Pengukuran dilakukan di dalam ruang, koridor bangunan dan di sekitar dengan jumlah titik Pengukuran sebanyak 20 titik ukur sedangkan an pergerakan udara berdasarkan orientasi bangunan yaitu sisi Utara, Timur, Barat, dan atas (void). Pengukuran dan pengambilan kuisisioner di selama 2 (dua) hari dengan rentang waktu pengukuran mulai pagi (jam



08.30 – 12.30), siang hari (jam 13.00 – 14.00), dan sore hari (jam 15.00-17.00). Parameter jarak pengukuran suhu, dan kelembaban terhadap obyek pengukuran (air dan lansekap) terdiri dari 5 (lima) titik Pengukuran dengan jarak 2, 5, 10, 20, dan 25 meter.



Gambar 28 Alat Pengukuran kecepatan angin



Gambar 29 Alat pengukuran suhu dan kelembaban relatif

Pengumpulan data pengukuran kecepatan angin, suhu/temperatur udara, dan kelembaban udara dilakukan berdasarkan pada parameter jarak terhadap obyek elemen air dalam ruangan yang telah ditentukan (gambar 28). Proses analisis data di ambil dari instrumen yang di gunakan dan data fisik bangunan. Analisis lingkungan termal berupa suhu, kelembaban, dan radiasi yang diamati menurut standard (55 2020) ASHRAE 55-2020 dan ISO 7730 untuk melihat temperatur efektif (TE), PMV dan PPD yang diolah menggunakan software Thermal Comfort Tool (CBE) yang menghasilkan diagram Phsycometric setelah itu di bandingkan dengan indeks kenyamanan termal. PMV, PPD, dan SET yang dihasilkan dan mengacu pada standard ASHRAE 55-2020. Standar ASHRAE 55-2020 yang mempunyai 7 kriteria yaitu, sangat dingin (-3), sejuk/dingin (-2), agak sejuk (-1), netral (0), agak hangat/panas (+1), panas (+2), panas sekali (+3). Selanjutnya untuk pemaknaan sensasi termal berdasarkan pada skala kesan/sensasi termal (thermal sensation), digunakan kuisisioner yang di berikan bersamaan pada saat pengukuran. Kemudian analisis suhu operatif ruang yang diperoleh di deskripsikan dengan model regresi linear. Analisis terhadap kecepatan angin berdasarkan pada pengukuran arah orientasi bangunan pada 2 obyek penelitian kemudian di simulasikan dengan analisis dari Computational Fluid Dinamic (CFD) dan selanjutnya di bandingkan pada kedua model simulasi tersebut.



Gambar 30. Alur pikir penelitian

5.3.1. Lokasi Pengukuran

Lokasi obyek penelitian berada di Provinsi Sulawesi Selatan Kota Makassar dengan iklim setempat dan orientasi bangunan Utara Selatan. Adapun dasar pertimbangan pemilihan obyek penelitian yaitu bahwa kedua bangunan tersebut terdapat elemen arsitektural berupa air dan lansekap sebagai topik penelitian.

Bangunan pusat perbelanjaan modern (Mal Nipah) yaitu salah satu mal terbesar di kota Makassar, Mal Nipah Makassar merupakan kawasan superblok pusat perbelanjaan modern bertingkat dan pusat perkantoran, bangunan yang terletak sebelah Timur dari wilayah administrasi Kota Makassar ini dibangun di atas lahan seluas 121,426 m² dengan luas tanah 3,5 Ha. Untuk area mal memiliki luas area 74,352 m² dan luas area office sendiri yaitu 15,440 m². Bentuk topografi tapak menyerupai bentuk trapesium, mengikuti bentuk alami site dengan memanfaatkan kontur setinggi 1.00 meter.





Gambar 31 Denah dan titik pengukuran Mal Nipah

Terdapat vegetasi pada bagian depan dan belakang tapak termasuk vegetasi dalam bangunan. Pada rooftop terdapat area terbuka yang berfungsi sebagai taman dan roof garden serta rain collector dan rain harvesting. Penutup atap bagian atas bangunan terdapat membrane semi transparan yang dapat menahan radiasi matahari dan berfungsi sebagai untuk pencahayaan alami. Material dalam bangunan menggunakan material ekspos sebagai material utama berupa concrete beton, kayu, metal, dan bata terracotta. Sistem pencahayaan dan penghawaan lebih banyak menggunakan sistem alamiah.

Adapula koridor void tanpa membran yang membuat sirkulasi udara lebih segar dan nampak terang serta luas. Sistem ini dirancang dengan mengatur lubang masuk dan keluarnya udara serta dengan ventilasi silang.

Pada area ini terdapat kolam dan air terjun buatan yang terletak pada bagian tengah bangunan. Dalam Penelitian ini elemen air dalam bangunan berupa air terjun buatan dan kolam. Tinggi air terjun buatan terdiri dari tinggi air terjun 1 \pm 15 m, air terjun 2 \pm 18m, dan air terjun 3 \pm 22 m. Volume kolam pada saat terisi penuh \pm 31.92 m³ dengan suhu air kolam 27.1°C. Pengoperasian air terjun buatan secara otomatis setiap hari pada jam 12.00 – 14.00 dan 15.00 – 17.00.

Hotel Maxone merupakan salah satu hotel di Kota Makassar yang yang mengusung konsep hotel resort, memiliki ruang terbuka hijau cukup besar dan tertata dengan baik. Hotel yang berdiri diatas lahan 2,4 hektar dan luas bangunan sekitar 8.000 m², memiliki kamar 155 unit dan dilengkapi dengan berbagai fasilitas penunjang.





Gambar 32 Denah dan titik pengukuran Maxone hotel

Dengan konsep arsitektur tropis, hotel Maxone lebih banyak memanfaatkan sistem pencahayaan dan penghawaan alamiah. Sistem pencahayaan dan penghawaan buatan pada ruangan kamar dan juga memanfaatkan pengudaraan alami dengan bukaan jendela. Pada area kolam renang memanfaatkan pengudaraan dan pencahayaan alami melalui bukaan pada sisi Selatan, Barat, Timur, dan bagian atap. Terdapat area hijau dan pepohonan yang mengelilingi bangunan.

Dalam Penelitian ini elemen air dalam bangunan berupa kolam renang dengan luas 81.92 m², Volume kolam pada saat terisi penuh ± 118,78 m³ dengan suhu air kolam 26.6°C

Tabel 11. Kondisi dan situasi obyek penelitian

Subyek Penelitian	Orientasi Bangunan	Bentuk Ruang
Nipah Mall & office building	Utara-Selatan	Trapesium
Maxone Hotels	Utara-Selatan	Persegi Panjang

Fasade	Elemen Arsitektural	Bukaan/ventilasi
Jendela pasif dengan Double Skin	Area hijau, Vegetasi, air terjun, kolam, batu bata ekspose	Rooftop terbuka dan sebagian atap membrane semi transparan Koridor Void tanpa membrant
Jendela Pasif dengan material kaca massif	Area hijau, Vegetasi, kolam, batu bata ekspose	Rooftop terbuka dan sebagian atap membrane semi transparan

5.4. Hasil

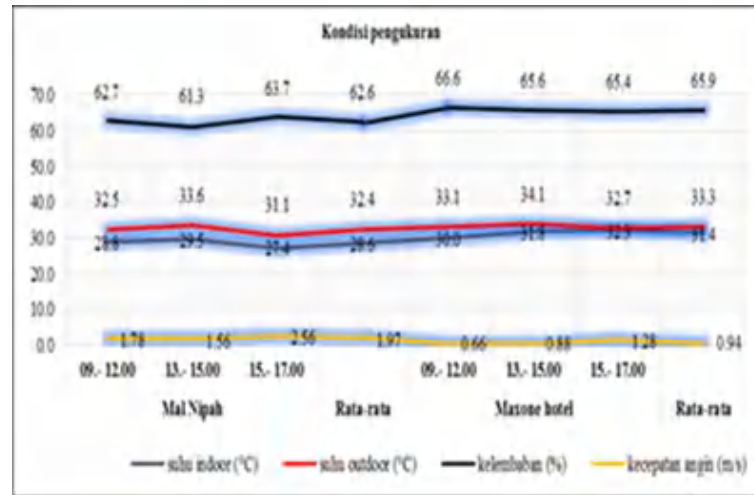
5.4.1. Analisis suhu, kelembaban, dan suhu radiasi

Proses pengukuran suhu, kelembaban, dan suhu radiasi, dari kedua obyek penelitian diambil data dari instrumen kemudian di olah menggunakan statistik sehingga di dapatkan hasil rata-rata pengukuran.

Bangunan Nipah Mall dan Maxone Hotel memiliki orientasi bangunan respon terhadap iklim yang ada di daerah tersebut, karena pada kedua tersebut sisi terpanjang pada fasad bangunan menghadap ke arah Utara an. Pada grafik di bawah terlihat Pengukuran rata-rata suhu temperature



dalam ruangan, luar ruangan, kelembaban, dan kecepatan angin dengan titik ukur, jarak, dan waktu. Pengukuran di lakukan pada area lantai 1 di mana terdapat obyek elemen air dan tanaman (lansekap).



Gambar 33 Grafik hubungan titik ukur, jarak pengukuran ruang, iklim dan waktu pengukuran

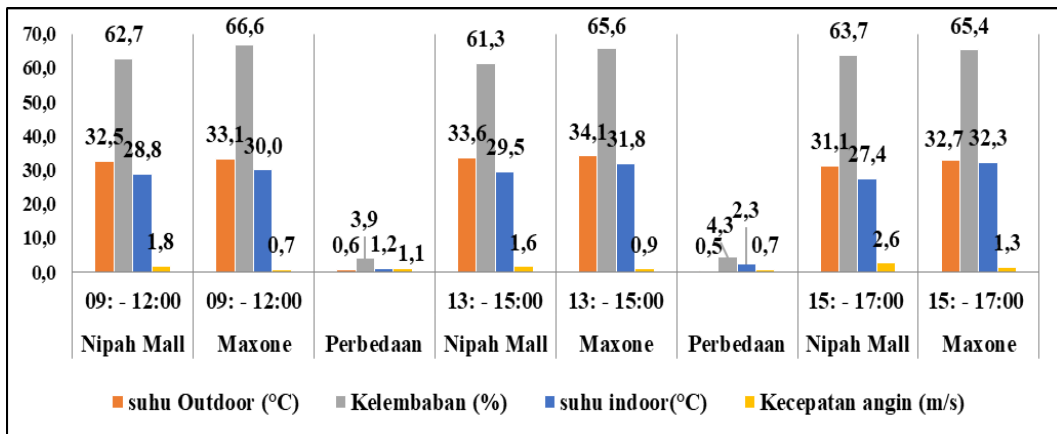
Pengukuran jam 08.30 – 12.30 Nipah Mall dan Maxone Hotel dengan 5 titik ukur pengamatan dapat di lihat suhu minimum - maksimum berkisar antara 27.32 – 30.2°C sehingga suhu rata-rata dalam bangunan Nipah Mall berkisar 28.82°C, kelembapan 62.65%, suhu luar ruangan berkisar 32.5°C dan kecepatan angin rata-rata 1.78 m/s, sedangkan pada bangunan Maxone Hotel suhu minimum – maksimum berkisar antara 28.5–32.6°C sehingga suhu rata-rata 30.0°C, kelembapan 67%, suhu luar ruangan berkisar antara 32.1 - 33.7°C, dan kecepatan angin rata-rata 0.66 m/s

Pengukuran jam 13.00–15.00 Nipah Mall dan Maxone hotel dengan 5 titik ukur pengamatan dapat di lihat suhu minimum - maksimum berkisar antara 29.3–29.7°C sehingga suhu rata-rata pada bangunan Nipah Mall 29.54°C, kelembapan 61.34%, suhu luar ruangan berkisar 31.15°C dan kecepatan angin rata-rata 1.56 m/s, sedangkan pada Maxone hotel suhu minimum – maksimum berkisar antara 31.2–33.4°C sehingga suhu rata-rata 31.8°C, kelembapan 66%, suhu luar ruangan berkisar antara 33.6 - 34.9°C, dan kecepatan angin rata-rata 0.88 m/s.

Pengukuran jam 15.00–17.00 Nipah Mall dan Maxone hotel dengan 5 titik ukur pengamatan dapat di lihat suhu minimum - maksimum berkisar antara 26.6 – 28.4°C sehingga suhu rata-rata pada Nipah Mall 27.38°C, kelembapan 63.74%, suhu luar ruangan berkisar 31.10°C, dan kecepatan angin rata-rata 2.56 m/s sehingga suhu rata-rata 32.7°C, kelembapan 65%, suhu luar ruangan antara 33.0-33.8°C, dan kecepatan angin rata-rata 1.28 m/s.

selanjutnya gambar grafik di bawah ini menunjukkan perbedaan pengaruh jarak pengukuran pada kedua obyek penelitian.





Gambar 34 Grafik Scatter hubungan suhu/temperature, kelembaban, suhu outdoor, dan kecepatan angin Mal Nipah dan Maxone hotel
 Sumber: Data primer penulis, 2023

Grafik diatas memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan suhu/temperature, radiasi matahari, kelembaban dan kecepatan angin pada pengukuran bangunan Nipah mall dan Maxone Hotel bahwa pada pengukuran jam 08.30 – 12.00 WITA Mal Nipah dan Maxone hotel suhu dan kelembaban rendah serta kecepatan angin rata-rata 1.22 m/s selanjutnya pada pengukuran jam 13.00–15.00 suhu/temperature meningkat antara 29.54-31.80°C dan kecepatan angin rata-rata sampai 1.22 m/s sedangkan pada jam pengukuran 15.00–17.00 suhu dan kelembaban berangsur turun mencapai rata-rata 29.08°C dengan kelembaban 64.57% serta kecepatan angin antara 1.28 – 2.56 m/s.

Lantai pengukuran dititik pertama sampai titik ukur kelima terdapat vegetasi tapi tidak ada air, akan tetapi suhu dan kelembapannya naik turun disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu pada titik objek pertama suhu dan kelembapan sangat tinggi karena sedikitnya vegetasi, tidak adanya atap, dan ruang terbuka yang langsung terpapar sinar matahari, pada titik ukur kedua suhu dan kelembapan agak tinggi karena vegetasi tidak terlalu banyak dan ruangnya terbuka, pada titik ukur ketiga suhu dan kelembapan agak rendah karena adanya vegetasi dan ruang sedikit tertutup, pada titik ukur keempat dan kelima suhu dan kelembapan rendah karena banyaknya vegetasi dan ruang sedikit tertutup.

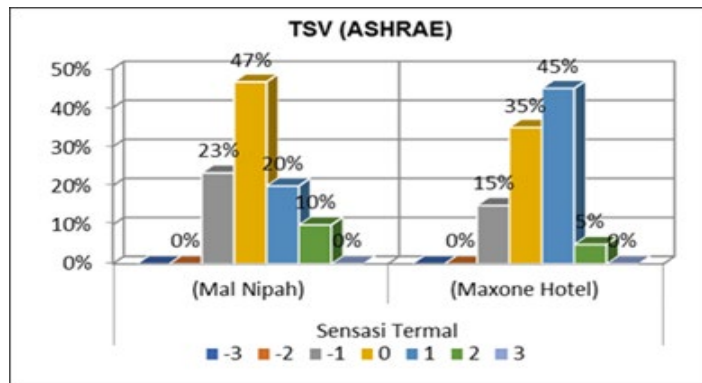
5.4.2. Thermal Sensation Vote

Thermal sensation vote (TSV) diukur berdasarkan tujuh skala ASHRAE. Untuk menghitung sensasi termal (TSV) maka di laksanakan survey pengukuran subjektif dengan pengambilan kuisisioner pada responden untuk dua obyek. Jumlah responden yang diambil sebanyak 30 orang responden agar validitas hasil kuisisioner. Responden yang memiliki umur dengan rentang tahun dengan mayoritas responden ialah perempuan. Sebanyak 20



responden merupakan seorang ibu rumah tangga, 10 responden merupakan seorang karyawan.

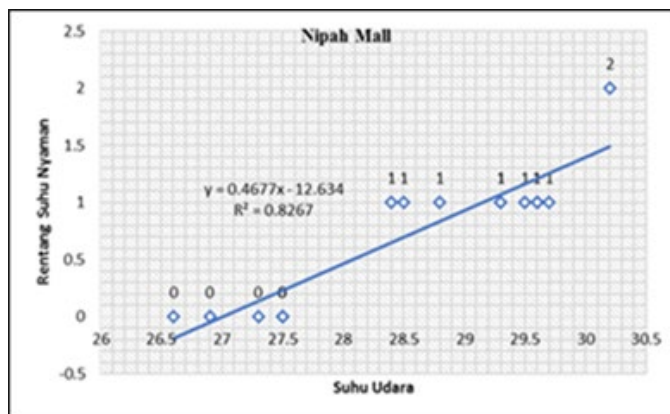
Aktifitas di lakukan dengan santai, berjalan, dan makan. Umumnya responden berpakaian formal. Karakteristik responden berupa tinggi badan dengan rentang 150-169 cm. Pada survei menggunakan kuisisioner yang di sebar kepada pengunjung dengan ketentuan sebagai berikut yaitu responden di pilih secara acak, rentan waktu antara jam 08.30 – 17.00, responden tidak memakai jenis baju yang tebal seperti sweater dan sejenisnya sehingga angka tahanan pakaian (clothing value) adalah 0.6 clo (ASHRAE 55, 2020), dan responden dengan aktivitas berdiri, berjalan, makan, dan santai sehingga angka laju metabolisme tubuh (metabolic rate) diambil 1.2 met (ASHRAE 55, 2020). Hasil penyebaran kuisisioner seperti terlihat grafik berikut ini.



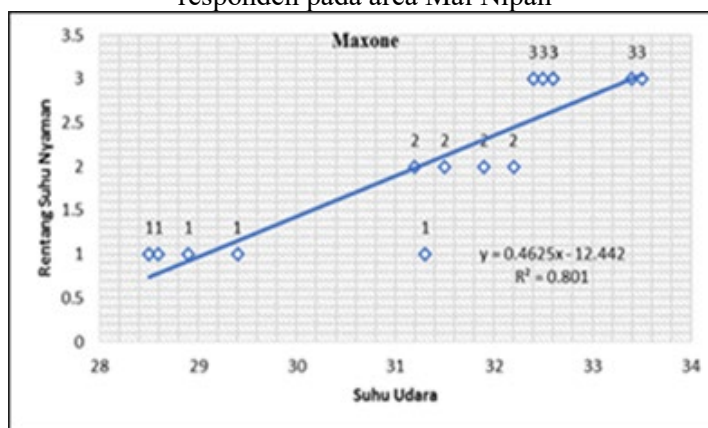
Gambar 35 Grafik Scatter Plot hasil Pengukuran sensasi termal responden pada kedua obyek bangunan

Gambar 35 memperlihatkan bahwa sensasi kenyamanan termal pada Mal Nipah dan Maxone hotel dapat di kategorikan bahwa pada area Mal Nipah pilihan responden tertinggi pada berada pada area 0 (netral) yaitu sekitar 46.7% sedangkan pada Maxone hotel pilihan responden tertinggi pada area +1 (agak panas) yaitu 45%. Indeks sensasi termal pada kedua bangunan tersebut sesuai dengan hasil pengukuran lapangan bahwa pada Mal Nipah suhu/temperature berkisar antara 27.38– 29.54°C dengan kelembaban rata-rata 61.58%, dan pada Maxone hotel suhu berkisar antara 28.5–33.5°C dengan kelembaban 64.7%. Dengan hasil tersebut dapat di analisis sensasi termal responden terhadap suhu (suhu udara dan suhu operasi) secara garis regresi linier sebagai berikut.





Gambar 36 Grafik Prosentase hasil Pengukuran sensasi termal responden pada area Mal Nipah



Gambar 37 Grafik Prosentase hasil Pengukuran sensasi termal responden hotel Maxone

Dari grafik data yang di hasilkan memperlihatkan bahwa suhu nyaman/netral = 0, di mana responden merasa nyaman di capai pada angka 26.8°C suhu/temperature udara (Ta) dengan rentang suhu nyaman responden antara -1 dan 0, sehingga batas di mana responden merasa sangat nyaman (batas bawah) pada angka 26.4°C suhu udara dan batas atas pada angka 27.8°C suhu udara.

Tabel 12. Hasil Persamaan Regresi

Regression Statistics	Maxone	Nipah
Multiple R	0.8862604	0.8992870
R Square	0.7854575	0.8087172
Adjusted R Square	0.7675790	0.7927770
Standard Error	0.4167459	0.263540
Observations	14	14

Persamaan regresi linear pada kedua bangunan tersebut yaitu nilai $y=0.4677x-12.634$ (Mal Nipah) dan $y=0.4625x-12.442$ (hotel Maxone), menjelaskan bahwa rentang suhu nyaman (Y) pada kedua obyek tersebut dengan rentang suhu udara (X) dengan rentang suhu nyaman (Y) pada kedua obyek tersebut pada jarak 0.80 – 1.00 dimana angka tersebut masuk dalam kategori sangat nyaman. Sedangkan nilai koefisien determinasi untuk Mal Nipah sebesar 0.793 atau 79.3% sedangkan pada hotel Maxone sebesar 0.768 atau



76.8% yang berarti bahwa pada kedua bangunan tersebut nilai suhu udara (X) dapat menganalisis rentang suhu nyaman seseorang (Y) sebesar >75%.

5.4.3. Predicted Mean Vote dan Predicted Percentage of Dissatisfied

Lingkungan dan kenyamanan termal yang diprediksi menggunakan Model PMV (Predicted Mean Vote), dan PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) dengan memasukan faktor-faktor yang mempengaruhi yaitu: faktor lingkungan termal (Suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, suhu radiasi) dan faktor kenyamanan termal manusia (jenis pakaian dan aktivitas). PMV merupakan index yang mengindikasikan sensasi dingin (cold) dan hangat (warmth) yang dirasakan oleh manusia pada skala +3 sampai -3.

Prediksi lingkungan termal berdasarkan pada indeks PMV, PPD, dan SET di olah dan di simulasikan menggunakan *software Center for Built Environment (CBE) Thermal Comfort Tools*. Fitur software ini mampu membandingkan dua atau tiga skenario kenyamanan lingkungan termal (*compare tool*) sehingga dapat memprediksi kenyamanan termal, menghemat sejumlah besar energi, dan menilai desain yang nyaman dengan komsumsi energi rendah.

Hasil evaluasi PMV dan PPD mengenai kenyamanan termal dengan melihat skala ASHRAE 55 yang terdapat pada CBE terlihat pada tabel berikut.

Tabel 13. . Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE Mal Nipah

Data	Nipah Mall		
	08.30-12.30	12.00-15.00	15.00-17.00
PMV	0.15	0.37	0.10
PPD	5%	8%	7%
SET	25.8	26.6	23.8

Tabel 14. Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE Maxone hotel

08.30-12.30	Maxone Hotel	
	12.00-15.00	15.00-17.00
1.42	1.45	0.23
47%	48%	6%
30.4	30.5	26.0

Sumber: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798>

Tabel 13 dan 14 memperlihatkan bahwa nilai PMV, PPD, dan SET pada lantai ukur dan pada setiap waktu ukur terdapat perbedaan yang signifikan, pada Mal Nipah nilai PMV, PPD, dan SET tertinggi berada pada jam 12.00-15.000 dan pada Maxone hotel nilai PMV, PPD, dan SET tertinggi pada jam 08.30 m 15.00. Nilai PMV, PPD, dan SET pada kedua bangunan tersebut pada jam 15.00-17.00. Selanjutnya perbandingan kenyamanan termal standard ASHARA E 55 pada kedua bangunan tersebut yang di an dengan software CBE dapat di lihat pada tabel berikut ini.

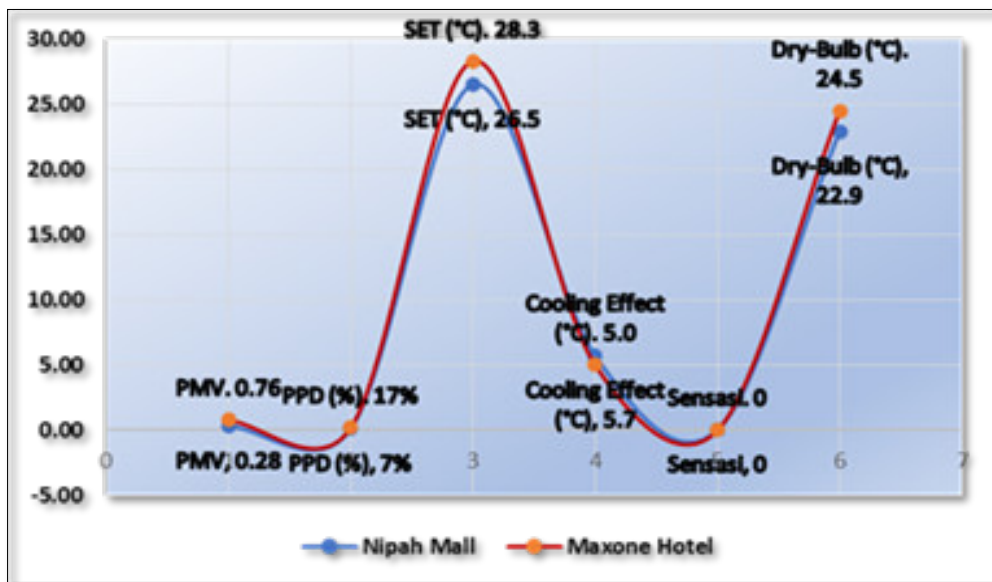


Tabel 15. Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE

	PMV	PPD (%)	SET (°C)	Cooling Effect (°C)	Sensasi	Dry-Bulb (°C)
Nipah Mall	0.28	7%	26.5	5.7	Netral	22.9
Maxone Hotel	0.76	17%	28.3	5.0	Sedikit Panas	24.5

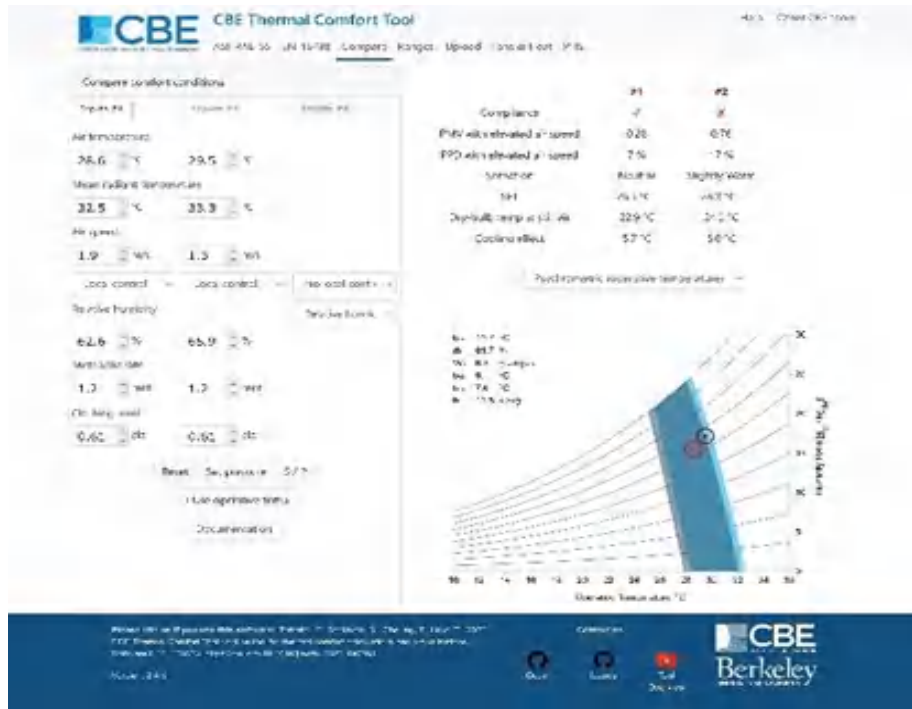
Sumber: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798>

Tabel 15 memperlihatkan bahwa nilai PMV, PPD, dan SET pada terdapat perbedaan dalam hal sensasi termal, pada Nipah Mall sensasi lingkungan termal berada pada posisi netral dengan nilai SET 26.5°C sedangkan pada Maxone hotel nilai SET 28.3°C atau sedikit panas, ini berarti standard ASHRAE 55 pada bangunan Maxone hotel tidak di terima dan pengunjung merasa tidak nyaman (+1 - +1.5).



Gambar 38 Grafik PMV Psychometrik perbandingan obyek penelitian





Gambar 39 Nilai perbandingan PMV hasil Pengukuran sensasi termal responden pada obyek penelitian

Sumber: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798>

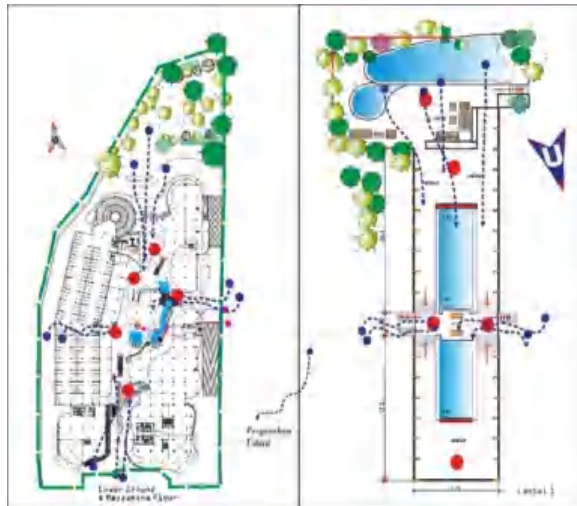
Pada gambar 38 dan 39 bagan PMV Psychrometric dapat dilihat perbandingan nilai PMV, PPD, dan SET pada Mal Nipah (input#1) dan Maxone hotel (input#2). Pada input#1 lebih cenderung ke netral (0). Nilai PMV berada pada nilai 0,28, PPD 7%, SET 26.5°C, dry-bulb 22.9°C, dan cooling effect 5.7. Pada input#2 sedikit panas (+1). Nilai PMV 0.76, PPD 17%, SET 28.3°C, dry-bulb 24.5°C, dan cooling effect 5.0°C. Suhu udara, TE, kelembaban udara, kecepatan angin, manusia, dan kegiatan sangatlah berpengaruh pada nilai PMV. Berdasarkan ASHRAE 55–2020 terdapat kondisi yang dapat diterima sebagai kondisi yang nyaman yakni nilai PMV berkisar antara -0,5 sampai dengan +0,5. Kesimpulan dari bagan psychometric diatas adalah Maxone hotel berdasarkan standar kenyamanan termal ASHRAE, titik merah sedikit keluar dari garis biru, dengan hasil PMV 0.76, dari skala termasuk dalam kategori hangat (*warmth*).

5.4.4. Analisis dan Simulasi Pergerakan Udara

Pengukuran kecepatan angin di sekitar area Nipah Mall dan Maxone Hotel dengan menggunakan peralatan *Air Flow Anemometer digital*. Pengukuran dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 5 titik ukur yaitu sisi Utara, Selatan, Timur, dan Barat (void). Pengukuran kecepatan angin di dalam bangunan diperlukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap lingkungan termal dengan elemen arsitektural berupa air dan tanaman sebagai pengubah iklim mikro bangunan.



Angin yang datang dari arah Timur maupun yang datang dari arah Barat, akan memberikan porsi yang sama untuk dapat masuk ke dalam ruang yang menghadap ke arah Utara dan Selatan. Bila posisi ruang penelitian menghadap ke arah Utara, kecepatan angin yang masuk pada pagi sampai sore hari lebih besar dibandingkan posisi ruang yang berada di Timur atau Barat bangunan. Sementara sisi yang menghadap ke arah Timur dan Barat pergerakan udara kecil karena tertutup oleh dinding ruang dan bukaan hanya akses pintu masuk. Pergerakan udara di sekitar dan dalam bangunan dari hasil pengukuran di lapangan dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 40 Pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada Pada Mal Nipah dan Maxone hotel

Dengan arah orientasi bangunan menghadap Utara – Selatan maka pergerakan udara di sekitar bangunan dan di dalam bangunan Nipah Mall maupun Maxone Hotel pada pagi hari hingga siang hari bergerak dari arah Timur ke Barat bangunan dan arah Selatan ke arah Utara bangunan. Sementara pada siang hari hingga sore, angin bergerak dari Arah Barat ke Arah Timur bangunan serta dari arah Utara ke Arah Selatan bangunan.

5.5. Pembahasan

Untuk mengetahui kecepatan dan pergerakan angin di dalam area tersebut, digunakan simulasi CFD analysis pada ruang lantai dasar disesuaikan dengan keadaan di lapangan untuk memberikan perbandingan pada jenis bukaan, orientasi, ruang terbuka hijau, dan bangunan sekitar. Dengan memasukan data pengukuran di lapangan didapatkan hasil kecepatan dan aliran udara pada kedua obyek bangunan tersebut sebagai berikut :

Bangunan Nipah Mall

Pergerakan udara di sekitar dan di dalam bangunan Nipah Mall dapat dilihat pada gambar dan grafik berikut ini.



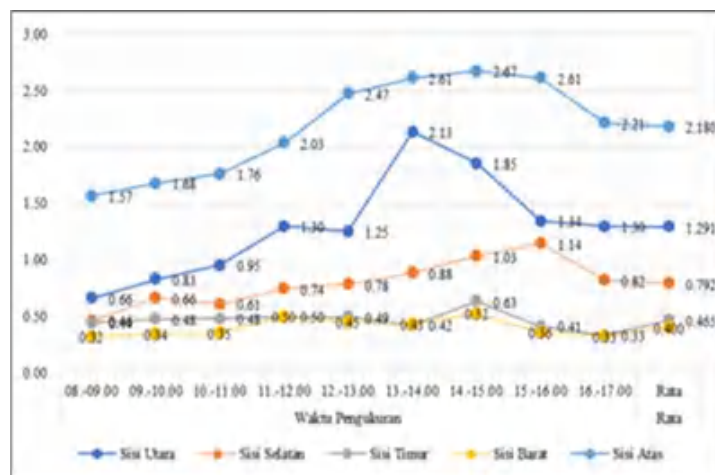
Tabel 16. Pergerakan udara, waktu dan titik ukur Mal Nipah

Nipah Mal	Ukur	08.-09.	09.-10.	10.-11.	11.-12.00	12.-13.00	13.-14.00
Sisi Utara	1	0.66	0.83	0.95	1.30	1.25	2.13
Sisi Selatan	2	0.46	0.66	0.61	0.74	0.78	0.88
Sisi Timur	3	0.44	0.48	0.48	0.50	0.49	0.42
Sisi Barat	4	0.32	0.34	0.35	0.50	0.45	0.43
Sisi Atas	5	1.57	1.68	1.76	2.03	2.47	2.61
Rata-Rata		0.69	0.80	0.83	1.01	1.09	1.30

14.-15.00	15.-16.00	16.-17.00	Rata-rata
1.85	1.34	1.30	1.291
1.03	1.14	0.82	0.792
0.63	0.41	0.33	0.465
0.52	0.36	0.33	0.400
2.67	2.61	2.21	2.180
1.34	1.17	1.00	1.025

Sumber: Data primer penulis

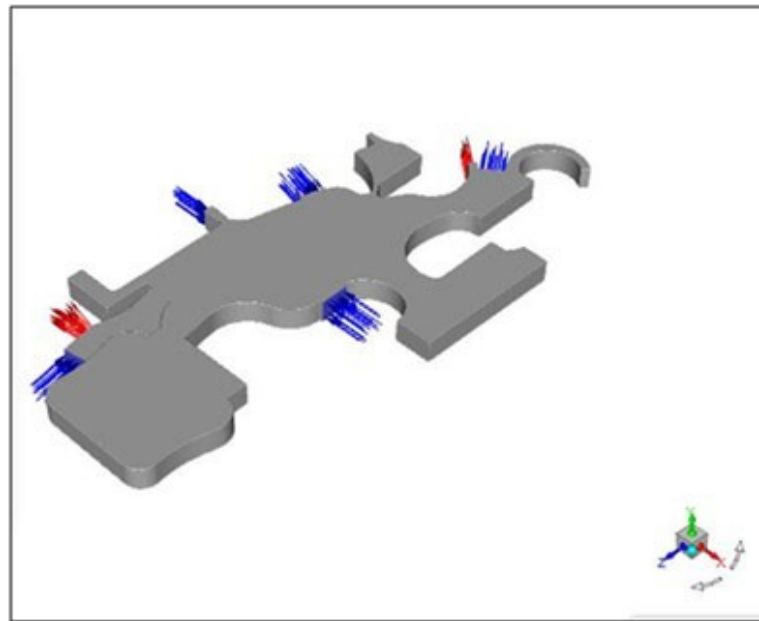
Kecepatan angin (V) rata-rata di dalam pada pagi hingga sore hari cenderung tinggi sebesar 1,03 m/s. Sisi bagian atas (atap) bangunan merupakan area pergerakan udara lebih besar hingga mencapai rata-rata 2.18 m/s dan sisi Utara sebesar 1.29 m/s. Besarnya pergerakan udara pada sisi Utara dan atas di sebabkan karena akses pintu masuk dan keluar serta bukaan (void) yang agak besar. Selanjutnya pergerakan udara dalam bangunan pada siang hari (jam 12.00 – 15.00) cukup tinggi sebesar 1.09–1.34 m/s dan menjelang sore hari kecepatan angin bergerak turun menjadi 1,00 m/s. Hal ini sesuai dengan keadaan kecepatan angin global dimana kecepatan angin akan dirasakan kencang pada siang hari, sedangkan pada pagi hari angin cenderung berubah-ubah arah maupun kecepatannya. Hal ini dikarenakan terjadinya peralihan pergerakan udara dari arah Barat ke Timur. Sedangkan pada sore hari kecepatan angin menurun dimana terjadinya pergerakan udara dari Timur berbalik arah ke Barat.



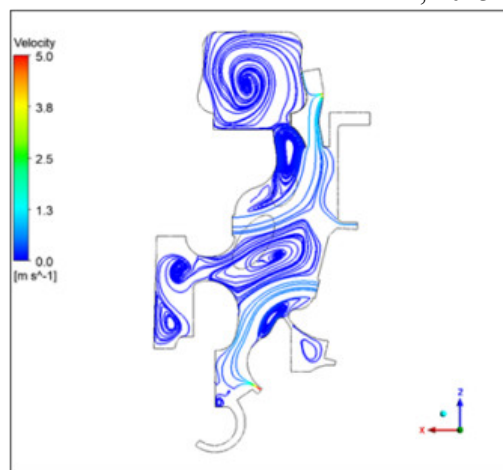
Gambar 41 Grafik pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada Mal Nipah



Grafik di atas memperlihatkan bahwa kecepatan angin pada arah Utara–Selatan, Timur–Barat, serta pada area top floor bangunan meningkat pada siang hari sebesar 1.010 m/s menjadi berkurang ketika angin melalui koridor luar lantai bangunan (0,544 m/det). Selanjutnya kecepatan angin semakin berkurang ketika angin sampai ke dalam ruang (0,044 m/det). Pengurangan kecepatan angin ini disebabkan karena terjadinya gesekan (friksi) ketika angin mengenai dinding-dinding bangunan dan saat angin melewati koridor luar bangunan dan selanjutnya ketika angin melewati ventilasi menuju ke dalam ruang. Dengan memasukkan data pengukuran di lapangan ke dalam simulasi WinAir4 dari CFD didapatkan hasil kecepatan dan aliran udara Nipah Mall sebagai berikut.



Gambar 42 Posisi inlet-outlet pergerakan udara pada Mal Nipah
 Sumber: Analisis WinAir4 CFD, 2023



Gambar 43 Hasil simulasi CFD pergerakan udara pada Mal Nipah



Pada bangunan Mal Nipah dimana terdapat obyek kolam air, lansekap, dan air terjun buatan, aliran udara yang bergerak dari Utara ke Selatan dan dari void lantai atas kemudian yang masuk ke dalam ruangan dan menyebar ke area tengah. Hal ini di sebabkan karena lokasi inlet (lubang masuk udara) pada bagian depan bangunan dan pada bagian rooftop. Berdasarkan hasil simulasi (gambar 16), pergerakan angin terbesar berada pada bukaan void sebesar 2,98 m/s kemudian bukaan pada sisi Utara sebesar 1.14 m/s. Terlihat bahwa area yang lebih sejuk berada pada bagian tengah, aliran udaranya berwarna biru, sehingga dapat dikatakan bahwa pengaruh kolam dan air terjun buatan pada area tersebut sangat berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengunjung.

5.5.2. Bangunan Maxon Hotel

Pergerakan udara di sekitar dan di dalam bangunan Maxone hotel dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini.

Tabel 17. Pergerakan udara dan waktu pengukuran pada area Maxone hotel

Maxone	Ukur	08.-09.00	09.-10.00	10.-11.00	11.-12.00	12.-13.00
Sisi Utara	1	0.20	0.56	0.76	0.81	0.32
Sisi Selatan	2	0.21	0.21	0.21	0.23	0.22
Sisi Timur	3	0.24	0.28	0.29	0.40	0.49
Sisi Barat	4	0.32	0.37	0.45	0.50	0.55
Sisi Atas	5	1.67	1.66	1.79	1.83	2.08
Rata-Rata		0.53	0.62	0.70	0.75	0.73

13.-14.00	14.-15.00	15.-16.00	16.-17.00	Rata-rata
0.49	0.50	1.19	0.98	0.645
0.18	0.13	0.18	0.12	0.189
0.42	0.53	0.45	0.31	0.380
0.42	0.72	0.66	0.63	0.513
1.62	1.85	1.61	1.76	1.764
0.63	0.75	0.82	0.76	0.698

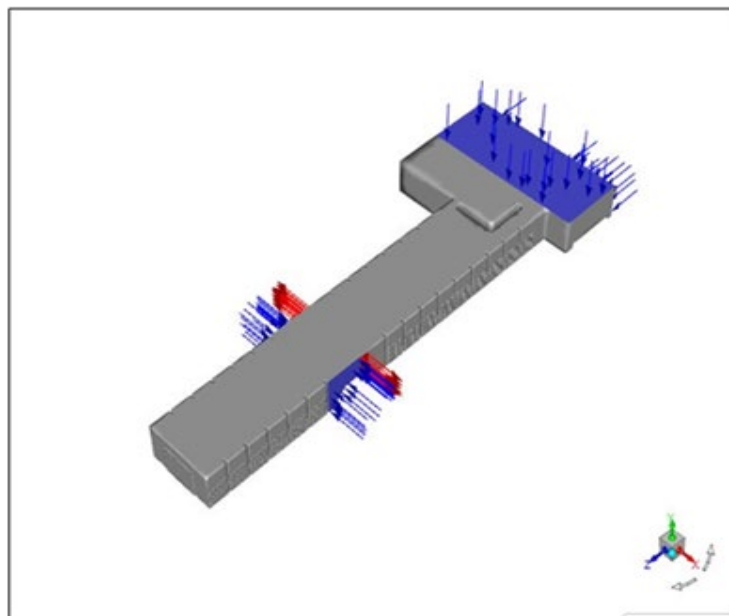
Kecepatan angin (V) rata-rata pada pagi hingga sore hari sebesar 0,86 m/s. Sisi bagian atas (atap) bangunan merupakan area pergerakan udara lebih besar hingga mencapai rata-rata 1.76 m/s dan sisi Utara sebesar 0.65 m/s. Besarnya pergerakan udara pada kedua sisi tersebut karena akses area belakang bangunan yang merupakan area kolam dan area terbuka hijau serta bukaan (void) pada bagian atas yang agak besar ($\pm 95m^2$). Selanjutnya pergerakan udara dalam bangunan pada sore hari (jam 13.00 – 17.00) cukup tinggi sebesar 1.02 – 1.09 m/s. Kecepatan dan pergerakan pagi hari hingga siang hari angin cenderung berubah-ubah arah maupun kecepatannya. Hal ini dikarenakan terjadinya peralihan arah aliran udara dari arah Timur ke arah Barat. Sedangkan pada sore hari angin tinggi karena terjadinya pergerakan udara dari Barat berbalik arah



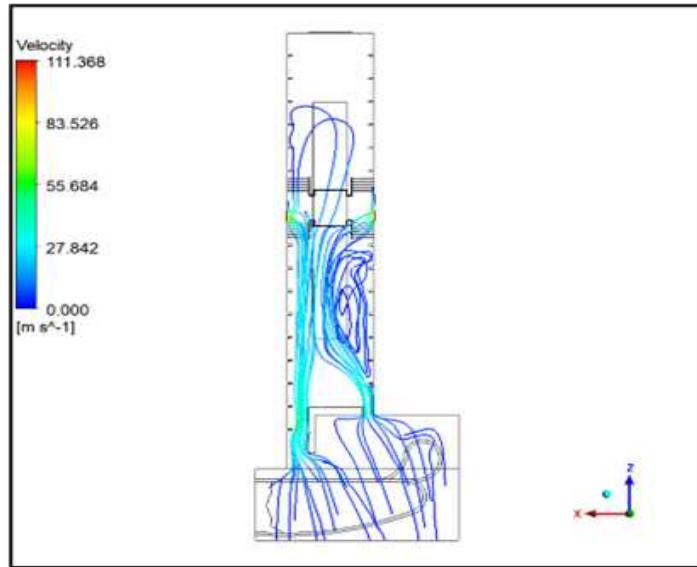


Gambar 44 Grafik pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada Maxone hotel

Gambar grafik di atas memperlihatkan bahwa kecepatan angin rata-rata pada arah Selatan – Utara, Barat – Timur, serta pada area top floor bangunan meningkat pada jam 11.00-16.00 sebesar 0.92 m/s kemudian pergerakan udara relatif stabil hingga mencapai waktu sore hari. Dengan memasukan data pengukuran di lapangan ke dalam simulasi WinAir4 dari CFD didapatkan hasil kecepatan dan aliran udara Maxone hotel sebagai berikut.



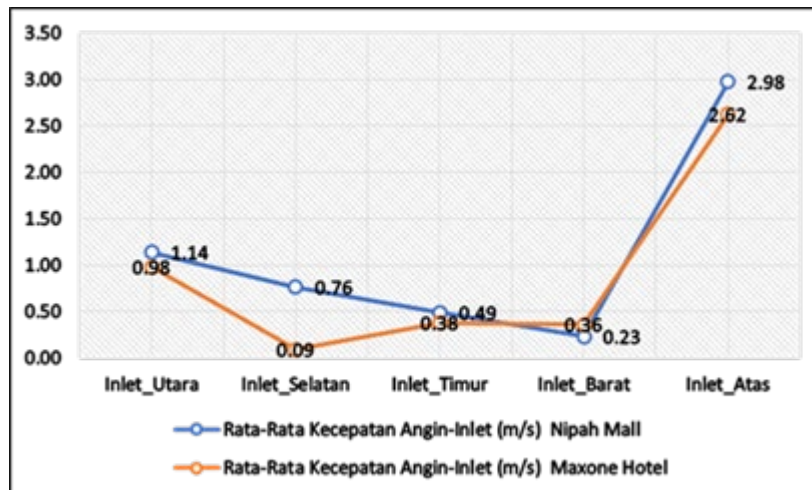
Gambar 45 Posisi inlet-outlet pergerakan udara pada Maxone hotel



Gambar 46 Hasil Simulasi CFD Aliran Udara Ruang Maxone hotel

Pada bangunan Maxone hotel lantai dasar dimana terdapat obyek kolam renang dan lansekap, aliran udara yang bergerak dari Selatan dan dari void lantai atas kemudian yang masuk ke dalam ruangan sementara pada sisi Utara tidak terdapat bukaan. Berdasarkan hasil simulasi (gambar 46), pergerakan udara terbesar berada ada sisi atas (void) sebesar 2.63 m/s dan pada bukaan sisi Barat sebesar 0.98 m/s.

Berdasarkan hasil simulasi, maka perbandingan laju kecepatan angin rata-rata pada kedua bangunan tersebut dapat di lihat pada gambar berikut ini:



Gambar 47 Grafik perbandingan laju kecepatan angin pada Mal Nipah dan Hotel Maxone



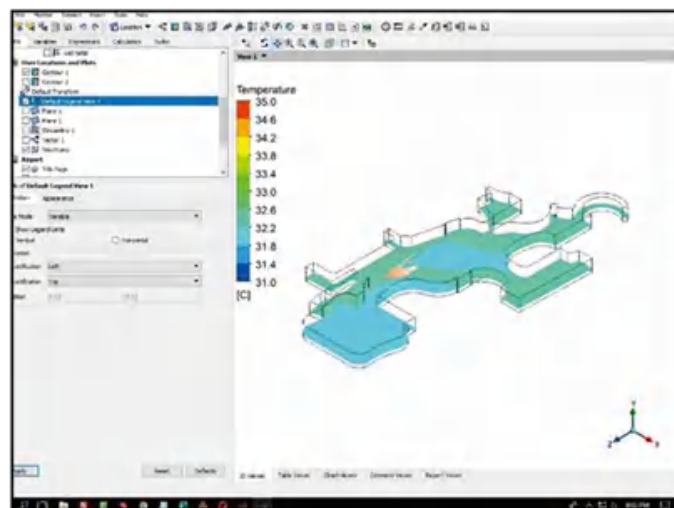
di atas memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan laju kecepatan angin pada kedua bangunan tersebut dimana orientasi bukaan inlet tidak hanya mempengaruhi kecepatan udara, tetapi juga pola aliran udara dalam ruangan,

sedangkan lokasi outlet hanya memiliki pengaruh kecil dalam kecepatan dan pola aliran udara. Pada Mal Nipah perletakan bukaan udara besar berada di sisi atas yang merupakan inlet sekaligus outlet akan menciptakan pola aliran udara yang bergerak dari inlet ke outlet. Orientasi inlet sisi Utara merupakan potensi arah datang angin akan mempengaruhi kecepatan udara untuk mencapai kenyamanan termal di dalam bangunan. Pada Maxone hotel inlet sisi atas merupakan bukaan yang memberikan pola aliran udara yang masuk kedalam ruangan sekaligus juga merupakan outlet aliran udara, karena pada sisi Selatan tidak terdapat bukaan sehingga aliran udara mengalami friksi termasuk pada inlet sisi Timur dan Barat di mana bukaan tidak terlalu besar. Hal ini lah yang mempengaruhi kenyamanan termal sehingga suhu dan kelembaban agak tinggi.

5.6. Evaluasi dan Komparasi Temuan Penelitian

Evaluasi dan komparasi berdasarkan elemen arsitektural berupa air dan vegetasi melibatkan penilaian dan perbandingan efek dari penggunaan elemen ini terhadap kondisi termal di lingkungan yang dianalisis. Pada kedua obyek penelitian aspek yang dievaluasi dan dibandingkan yaitu lingkungan dan kenyamanan termal berdasar pada standard ASHRAE 55.

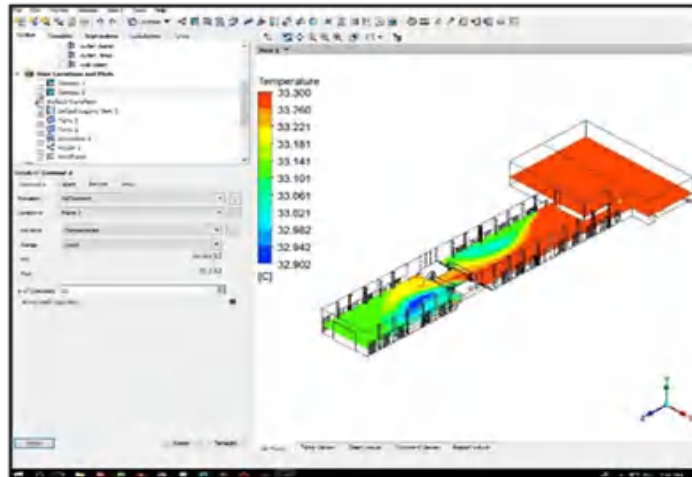
Pada bangunan Mal Nipah hasil simulasi suhu, kelembaban, suhu radiasi, dan pergerakan udara berdasarkan gambar 21 memperlihatkan bahwa suhu rata-rata sekitar 29°C, kelembaban 63%, dan kecepatan udara berkisar antara 1.9 – 2.9 m/s.



Gambar 48 Hasil simulasi lingkungan termal Mal Nipah

Keberadaan elemen arsitektural berupa air dan vegetasi berdasarkan hasil simulasi lingkungan termal didapatkan penurunan suhu termal pada Mal Nipah 5.2°C dan kelembaban relatif meningkat 6%, sehingga dapat dikatakan bahwa pengaruh kolam dan air terjun pada area tersebut sangat berpengaruh terhadap kenyamanan termal lingkungan.





Gambar 49 Hasil Simulasi Termal Hotel Maxone

Hasil simulasi suhu dan kelembaban (gambar 46) memperlihatkan bahwa suhu rata-rata mencapai 33.3°C dan kelembaban 72% sementara area dekat kolam renang suhu sekitar 32.1°C dan kelembaban 69% .

Keberadaan elemen arsitektural berupa air dan vegetasi berdasarkan hasil simulasi termal didapatkan penurunan termal pada Maxone hotel sebesar 1.2°C dan kelembaban 2% dari hasil pengukuran lapangan, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kolam renang pada area tersebut tidak berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengunjung.

Komparasi temuan penelitian dengan penelitian sebelumnya yaitu penelitian ini melibatkan perbandingan antara dua lokasi yang berbeda, perbedaan pola aliran dan sirkulasi udara, penggabungan dua elemen arsitektural, dan penggunaan model simulasi komputer.

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kolam atau elemen air dan vegetasi dapat menciptakan zona pendinginan mikro di sekitar bangunan dengan memperhatikan pola aliran udara, bukaan ventilasi, dan pengaturan serta perletakaan elemen air dan vegetasi.

Berdasar pada hal tersebut diatas maka evaluasi yang di lakukan sebagai berikut

1. Sejauh mana penggunaan air dan vegetasi dapat menurunkan suhu udara secara signifikan di area tertentu. Perbedaan suhu dengan dan tanpa elemen tersebut.
2. Penggunaan air dan vegetasi dapat mengurangi kebocoran panas dari bangunan dan pengaruhnya terhadap penurunan suhu dan kebutuhan pendinginan.
3. Pengamatan terhadap tingkat evapotranspirasi yang berbeda dari elemen air dan vegetasi dapat mempengaruhi suhu udara dan kelembapan di sekitar bangunan.
4. Pengaruh elemen air dan vegetasi terhadap ventilasi alami dan kualitas udara

ruangan.

gunaan elemen air dan vegetasi dalam desain arsitektural.



5.6. Kesimpulan

Hasil analisis dan pembahasan sebelumnya dapat di tarik kesimpulan bahwa keberadaan elemen air dan vegetasi di lingkungan termal pada penelitian ini menunjukkan bahwa Indeks PMV, PPD, dan SET pada kedua obyek bangunan terdapat perbedaan yang signifikan, nilai PMV, PPD, dan SET pada bangunan Mal Nipah berada pada posisi netral sedangkan pada Maxone hotel sedikit panas, ini berarti standard ASHRAE 55 pada bangunan Maxone hotel tidak di terima. Dengan hasil PMV 0.76, dari skala termasuk dalam kategori hangat. Hal yang sama juga pada nilai sensasi termal TSV pada Mal Nipah 47% responden memilih suhu nyaman (0) sedangkan Maxone hotel 45% responden di kategori agak panas (+1).

Hasil simulasi pergerakan udara pada Mal Nipah terbesar berada pada bukaan void sebesar 2,98 m/s kemudian bukaan pada sisi Utara sebesar 1.14 m/s. Terlihat bahwa area yang lebih sejuk berada pada bagian tengah area kolam dan air terjun sementara pada Maxone hotel pergerakan udara terbesar berada ada sisi atas (void) sebesar 2.63 m/s dan pada bukaan sisi Barat sebesar 0.98 m/s, hasil simulasi menunjukkan kolam renang pada area tersebut tidak berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengunjung.

Evaluasi perbandingan terhadap keberadaan elemen air dan vegetasi berdasarkan hasil simulasi termal didapatkan penurunan termal pada Mal Nipah 5.2°C dan kelembaban 6% sementara pada Maxone hotel penurunan termal suhu 1.2°C dan kelembaban 2%. Hasil simulasi termal menunjukkan bahwa keberadaan elemen air dan vegetasi pada Maxone hotel tidak berpengaruh secara signifikan berdasarkan pada standard ASHRAE 55. Hal ini di sebabkan karena pergerakan udara pada area tersebut kurang baik karena posisi inlet dan outlet tidak seimbang.

Referensi

- ASHRAE 55, A. S. (2020). Thermal Environmental Conditions For Humn Occupancy. USA, ASHRAE.
- Albatayneh, A., D. Alterman, A. Page and B. Moghtaderi (2018). "An alternative approach to the simulation of wind effects on the thermal performance of buildings." *International Journal of Computational Physics Series 1* (1): 35-44.
- Candra Monica, Y. P., Zairin Zain (2022). Evaluasi Aliran Udara di Ruang Kelas Selama Pandemi Covid-19. *DIMENSI: Jurnal Arsitektur dan Lingkungan Binaan*, 49 Nomor 2, 117-121. doi:10.9744/dimensi.49.2.117-122
- Fanger, P. O. 1982. Thermal comfort. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Golany, G. S. (1995). *Ethics and urban design: Culture, form, and environment*, Wiley & Sons.

Baharuddin, dkk. (2019). "Adaptive Thermal Control of Naturally lated Classroom of Elementary School in the Tropic" Departemet of



Architecture, Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Macassar, Indonesia

- Hendrawati, D. (2016). "Air Sebagai Alat Pengendali Iklim Mikro Dalam Bangunan (Studi Kasus: Taman Sari Royal Heritage Spa, Hotel Sheraton Mustika Yogyakarta)." *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan* **18**(2): 97-106.
- Ismardono, A. (2017). Studi Performa Pendinginan Evaporasi Dengan Mempertimbangkan Efek Udara Menyalang Pada Rumah Tinggal Dengan Metode Computational Fluids Dynamics (CFD), Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- I Wayan Wirya Sastrawan, I. G. S. D., Mustika, d. N. W. M., & (2018). Kenyamanan Termal pada Taman Air Berarsitektur Tradisional Bali (Studi Kasus: Tirta Gangga) *UNDAGI: Jurnal Ilmiah Arsitektur*, Volume 6 Nomor 2(4), 51-59. doi: <http://dx.doi.org/10.22225/2.1018.51-59>
- Ilman Basthian, S. (2015). Pengaruh Desain Bukaannya Pada Selubung Bangunan Terhadap Efisiensi Energi Pada Rumah Susun Sederhana Sewa. *Jurnal tidak diterbitkan*. Retrieved from <https://jurnalonline.itenas.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/628>.
- John, N. H. T. d. K. W. (2010). "The Effect of Wide Ventilation Openings on Natural Ventilation and Thermal Comfort in Modified Residential Houses from Minahasa Traditional Houses." 3(5).
- Latif, S., B. Hamzah and I. Ihsan (2016). "Pengaliran Udara Untuk Kenyamanan Termal Ruang Kelas Dengan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics." *Sinektika: Jurnal Arsitektur* **14**(2): 209-216.
- MD Krisna Adya Anindita, F. B. O., Natalia Suwarno, Nimas Sekarlangit (2022). Utilization of building design performance simulation in the architectural design studio process *ARTEKS*. **7**: 163-174.
- Novan H. Toisi, John W. Kussoy. Pengaruh Luas Bukaannya Ventilasi Terhadap Penghawaan Alami Dan Kenyamanan Thermal Pada Rumah Tinggal Hasil Modifikasi Dari Rumah Tradisional Minahasa, *Jurnal Arsitektur DASENG Universitas Sam Ratulangi Manado*, Vo.1, No.1.
- Permana, T. and H. Sawab (2020). "Keberadaan Angin Pada Hunian Type 70 M2 (Sebuah Simulasi Kenyamanan Termal Hunian)." *Jurnal Raut* **1**(2): 33-41.
- Qurrotul A'yun, P. C. W., 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. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>.
- Rahmawati, R., Akbar, A. K. F., & Agustin, F. K. (2016). Penghawaan Alami Terkait Sistem Ventilasi Terhadap Kenyamanan Termal Rumah Susun Tri Dalam. *REKA KARSA*, **4**(1). <https://doi.org/10.26760/rekayasa.v4i1.1377>
- A. (2021). Prediksi Kenyamanan Lingkungan dan Bangunan. In: Haura.



- Sastrawan, I. W. W. and I. G. S. Darmawan (2018). " Simulation of Thermal Comfort Recommended Model of Traditional Balinese Water Park in I Gusti Ngrah Made Agung City Park in Denpasar." *Journal of Anala* 2(18): 27-37.
- Sukanda, (2009). *Arsitektur Post Modern*. Penerbit Grassindo, Jakarta.
- Satwiko, P. (2009). "Pengertian kenyamanan dalam suatu bangunan." Yogyakarta, Wignjosoebroto.
- Suarna, I. K. (2020). Efek Psikologi Manipulasi Elemen Air dalam Desain Interior–Studi Kasus: Fitur Air Jatuh Dengan Pengaturan Rendah. *Planners Insight: Urban And Regional Planning Journal*, 2(2), 030-035.
- Szokolay, S.V, 1973, *Manual of Tropical Housing and Building*, Orient Longman, India.
- Szokolay, S. V. (1987). *Thermal design of buildings*: RAIA Education Division.
- Tahang, T. (2016). "Teknik Sistem Simulasi Termal Bangunan Dengan Menggunakan Perangkat Computing Fluid Dynamic (CFD)." *Journal Techno Entrepreneur Acta* 1(1).
- Wirya, dkk. 2016. *Simulasi Kenyamanan Termal Pada Taman Air Tradisional Di Bali*. Jurnal Undagi Vol.4/No.1. Denpasar : Universitas Warmadewa.
- Wylson, A. (2013). *Aquatecture: architecture and water*, Elsevier.
- Zango, M. S., Danladi, A., Abdullah, I. A., & Luke, B. J. (2022). Vegetation as a Strategy to Improve the Thermal Performance of Fully Enclosed Courtyard in Tropical Climate. *Texas Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2, 10-24.



BAB VI

PEMODELAN LINGKUNGAN DAN KENYAMANAN TERMAL PADA BANGUNAN DI IKLIM TROPIS YANG PANAS DAN LEMBAB

Topik penelitian keempat berupa jurnal dengan judul “*Environmental Modeling and Thermal Comfort in Buildings in Hot and Humid Tropical Climates*”, terbit pada Jurnal *Architectural Institute of Korea* (JAIK) terindeks Scopus Q2.

6.1. Abstrak

Kondisi termal dalam ruangan sangat mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan manusia yang menempati ruang di dalamnya. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh unsur air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro pada bangunan untuk memperoleh kenyamanan termal melalui kajian model lingkungan termal. Penelitian ini mencakup dua objek yaitu bangunan umum dan perumahan di Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan – Indonesia. Metode kuantitatif melalui survey lapangan dan pengukuran berdasarkan variabel termal dan personal. Analisis data berdasarkan standar ASHRAE 55 2020. Data diolah dengan pendekatan statistik parametrik kemudian disimulasikan dengan metode simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menemukan model prediksi termal. Model dibuat dengan menambah luasan ventilasi 2.0 m², penambahan vegetasi 10% dengan karakteristik tanaman peneduh, dan fitur air yang bergerak berupa air mancur serta penambahan luasan kolam sebesar 15% sehingga didapatkan nilai PMV+0.23, PPD+8%, TSV-1 - +0, Ta_25.7°C, dan kelembaban relatif 63.5 - 66%. Evaluasi menunjukkan suhu operasi dapat menganalisis rentang suhu nyaman pengunjung sebesar >80% dan sesuai dengan standard ASHRAE 55-2020. Disimpulkan bahwa elemen air dan vegetasi dalam ruangan dapat menjadi pengubah iklim mikro pada bangunan untuk menciptakan kondisi kenyamanan yang diinginkan dan kontrol adaptif pada bangunan seperti penataan elemen air dan vegetasi serta sistem ventilasi untuk memberikan efek pendinginan pasif pada bangunan.

Kata Kunci: Kenyamanan termal; lingkungan termal; unsur air dan tumbuh-tumbuhan; efek pendinginan pasif; bangunan komersial



6.2. Pendahuluan

Kualitas lingkungan dalam ruangan mengacu pada kualitas lingkungan suatu bangunan terhadap kesehatan dan kenyamanan masyarakat yang menempati ruang di dalamnya. Kualitas lingkungan dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kenyamanan termal dan lingkungan termal.

Kenyamanan termal memiliki beragam faktor yang mempengaruhi terciptanya kepuasan manusia seperti suhu lingkungan, radiasi matahari, kelembaban udara, kecepatan angin, pakaian dan aktivitas (ANSI/ASHRAE 55, 2020). Kenyamanan termal dapat dipengaruhi oleh radiasi matahari, refleksi dan penyerapan, suhu, kelembaban udara dan pergerakan udara. Faktor kenyamanan termal selain pakaian dan aktivitas manusia dapat direkayasa dengan merancang suatu bangunan yang baik (Rahman, A. et al, 2021).

Perancangan kondisi ruang yang nyaman perlu memperhatikan beberapa faktor, salah satunya adalah kondisi iklim mikro seperti kelembaban, suhu udara, pergerakan udara, serta aspek fisiologis manusia di dalam ruangan seperti aktivitas, dan pakaian yang digunakan. Lingkungan termal dalam ruangan banyak dipengaruhi oleh iklim lokal, dan pergerakan udara melalui bangunan untuk mengurangi ketidaknyamanan dalam ruangan akibat kondisi panas berlebih di iklim tropis yang panas dan lembab (Latifah, N.L, 2013). Lingkungan dalam ruangan dipengaruhi oleh kondisi luar ruangan, sehingga faktor yang mempengaruhi lingkungan termal dalam ruangan sangat penting dalam meningkatkan lingkungan yang nyaman dan sehat pada bangunan tempat tinggal (Rajapaksha et al, 2022; Nazhatulzalkis et al, 2021).

Iklim mikro merupakan keadaan iklim pada ruang yang sangat terbatas, yang diukur pada ambang batas kurang lebih 2 meter dari permukaan tanah. Iklim mikro merupakan pembentukan ruang iklim yang terdapat pada suatu lingkungan berskala terbatas yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti lingkungan alam dan buatan, seperti penempatan vegetasi, penggunaan paving, serta unsur alam seperti air, dan tanah. Pengaruh yang terbentuk dari faktor-faktor tersebut menyebabkan suhu udara, suhu permukaan tanah, kecepatan arah angin, intensitas sinar matahari yang diterima permukaan bangunan, dan kelembaban udara (Sugini, 2014).

Kondisi iklim mikro terutama suhu dan kelembaban relatif udara belum sepenuhnya berada pada ambang batas kenyamanan termal karena dipengaruhi oleh beberapa faktor kondisi langit dan musim. Pada kondisi langit cerah ketersediaan radiasi matahari cukup banyak dibandingkan kondisi langit mendung, mendung atau hujan. Kondisi daya dukung iklim khususnya suhu dan kelembaban relatif udara di ruang luar bangunan belum dapat sepenuhnya di penerapan sistem pengkondisian pasif untuk mencapai kenyamanan dalam ruangan (Rahim dkk, 2016). Kelembaban udara menjadi faktor alam kenyamanan termal apabila suhu udara mendekati atau melebihi atas kenyamanan dan kelembaban udara lebih dari 70% dan kurang dari



40%. Untuk mengimbangi kondisi kelembaban tinggi ini, diperlukan kecepatan angin yang memadai di dalam ruangan. Beberapa faktor yang mempengaruhi kelembaban udara menurut (Rahim, R dkk, 2017) adalah suhu, tekanan udara, pergerakan angin, kuantitas dan kualitas penyinaran matahari, vegetasi, ketinggian tempat, kepadatan udara, dan ketersediaan air. Penelitian yang dilakukan (Zhang et al, 2022) menyatakan bahwa peningkatan kelembaban relatif dalam ruangan dapat secara efektif meningkatkan kenyamanan termal subjek secara keseluruhan. Oleh karena itu, ketika mengatur suhu pemanasan awal, kepadatan populasi personel dan kelembaban relatif dalam ruangan yang memadai telah diidentifikasi sebagai faktor kunci untuk meningkatkan lingkungan termal di ruang kelas.

Kuru dan Calis (2017) menemukan bahwa lingkungan termal dalam ruangan memiliki dampak besar terhadap kesehatan dan kesejahteraan pengguna. Sementara itu, Hamzah et al (2018) menyatakan bahwa pengaruh faktor kecepatan angin terhadap termal lingkungan sangat berpengaruh terhadap sensasi kenyamanan termal pengguna di dalam kelas. Penelitian lain mengenai desain bangunan yang berhubungan dengan kenyamanan lingkungan termal (Rahmawati, 2016; Basthian, 2015; A'yun, 2018) menekankan pada eksplorasi dan model bukaan ventilasi pada bangunan dan menyimpulkan bahwa faktor kecepatan angin mempengaruhi desain bangunan untuk mencapai termal. kenyamanan.

Perancangan sistem bukaan pada bangunan untuk mencapai kenyamanan termal memerlukan pengetahuan yang lengkap tentang pergerakan udara dalam ruangan, teknik model simulasi dapat digunakan untuk memperkirakan suhu, kelembaban, dan kecepatan udara dalam ruangan (Tahang, 2016); Nursulistiyono, 2019; Albatayneh dkk, 2018; Permana & Sawab, 2020). Kehadiran unsur air dan vegetasi sebagai pertimbangan dapat menjadi pengubah iklim mikro dalam ruangan untuk menciptakan kondisi kenyamanan yang diinginkan berdasarkan iklim setempat (Wylson, A, 2013).

Air sebagai salah satu elemen dalam arsitektur dapat dianalisis dengan berbagai cara dan perspektif dalam mendefinisikan suatu ruang. Analisis dilakukan terhadap air karena air memegang peranan penting sebagai salah satu elemen dalam desain arsitektur dan dipisahkan aspek-aspeknya sebagai efek fisik, dimensional, dan sensorik (pendengaran, visual, sentuhan, dan tekstur). Elemen air mendefinisikan ruang menurut ukuran, penempatan dan proporsinya (Narendra dkk, 2016).

Pada siang hari, radiasi sinar matahari yang panas dapat dijadikan energi untuk mengubah air menjadi uap air yang akan mengubah iklim mikro disekitarnya (Setyowati. E, 2015). Unsur air mempunyai peranan penting dalam iklim mikro suatu ruang. Kehadiran unsur air sangat mempengaruhi kondisi kelembaban udara dan suhu ruangan. Kehadiran air dan kelembaban udara meningkat sehingga menurunkan suhu ruangan (Rahmawati, 2016; Zhang, 2022).



Vegetasi dapat menurunkan suhu udara tergantung pada jenis vegetasi dan penerapannya (Koerniawan dkk, 2016). Adityo (2016) dalam penelitiannya di Yogyakarta dengan menggunakan simulasi Envi-Met mengatakan bahwa vegetasi pepohonan lebih efektif dalam menurunkan suhu kawasan dibandingkan vegetasi penutup tanah. Pohon mempunyai tajuk yang dapat menutupi area di bawahnya dan juga efektif dalam memantulkan radiasi matahari, menyerap radiasi matahari serta membantu memecah dan mengarahkan angin. Selain elemen arsitektur, elemen lanskap seperti pepohonan dan vegetasi juga dapat digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari. Kehadiran pepohonan secara langsung/tidak langsung akan menurunkan suhu udara sekitar karena radiasi matahari akan diserap oleh daun untuk fotosintesis dan penguapan. Efek bayangan oleh vegetasi akan menghalangi pemanasan permukaan bangunan dan tanah di bawahnya (Syarifah, H.N, 2021). Menurut Yulita (2019), penataan elemen lanskap yang paling mempengaruhi kenyamanan termal adalah adanya vegetasi peneduh. Sementara itu, Fibrianto dan Hilmy (2018) mengatakan bahwa naungan yang dibentuk oleh vegetasi dengan tajuk kecil tidak memberikan pengaruh yang berbeda terhadap penurunan suhu udara. Penelitian-penelitian terdahulu yang membahas tentang unsur air dan tumbuh-tumbuhan sebagai pengubah iklim mikro lebih banyak penelitian yang mengarah pada lingkungan luar dan halaman bangunan serta komposisi arsitektur pada bangunan khususnya pada iklim tropis panas dan lembab terutama dari segi udara. kelembaban.

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan lingkungan termal dengan elemen air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro untuk kenyamanan dan termal lingkungan berdasarkan standar ASHRAE 55 2020. Melalui penelitian ini manfaat yang diperoleh adalah berkembangnya solusi berkelanjutan yang memadukan aspek lingkungan, kenyamanan, efisiensi energi dan ramah lingkungan di wilayah tropis yang panas dan lembab. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pendekatan integratif yang menggabungkan pergerakan udara, elemen air, dan vegetasi dalam mempertimbangkan kualitas lingkungan termal pada bangunan. Aspek baru mungkin mencakup pemahaman yang lebih baik tentang preferensi penghuni terkait pergerakan udara, efek pengkondisian evaporatif, dan dampak psikologis dari peningkatan lingkungan termal.

6.3. Bahan dan Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode survei, pengukuran, dan simulasi dengan subjek penelitian adalah bangunan tempat tinggal (hotel Maxone) dan pusat perbelanjaan modern (Nipah Mall) yang terletak di wilayah Kota Makassar, Kecamatan Panakkukang, Kota Makassar, Provinsi Selatan. Survei pengukuran obyektif meliputi pengukuran data lingkungan meliputi suhu udara, kelembaban relatif udara, radiasi dan pergerakan udara.

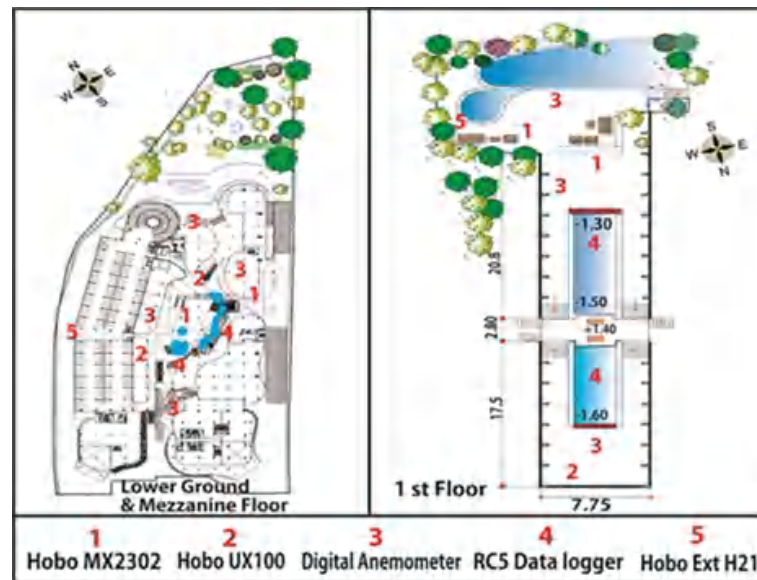


Instrumen penelitian yang digunakan adalah anemometer aliran udara digital untuk mengukur kecepatan angin, data logger Suhu Eksternal HOB0 UX100-023A, data logger seri Hobo MX2302, data logger suhu RC-5 untuk mengukur suhu, suhu radiasi, dan kelembaban udara relatif (Gambar 50). Setiap alat ukur mempunyai spesifikasi, batas pengukuran, dan ketelitian seperti terlihat pada Tabel 18.



Gambar 50 Instrumen pengukuran obyektif

Pengukuran dilakukan di dalam gedung dan sekitarnya dengan total 6 titik pengukuran untuk setiap objek penelitian, pengukuran berdasarkan parameter jarak 2, 5, 10, 15, 20, dan 30 meter, parameter ini di gunakan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh elemen air terhadap prediksi termal pengunjung. Sedangkan pengukuran pergerakan udara berdasarkan orientasi bangunan pada sisi Utara, Selatan, Timur, Barat, dan atas (void). Alat ukur diletakkan pada posisi seperti pada Gambar 51 dan diletakkan pada ketinggian satu meter di atas permukaan lantai mengikuti metode Wong dan Khoo, (2003); Fabozzi. M dan Dama, (2020). Objek unsur air dan tumbuhan pada penelitian terletak di lantai dasar.



Gambar 51. Rencana dan titik penempatan alat penelitian

an suhu lingkungan dan kuesioner (tabel 18) dilakukan selama 2 (dua) rut-turut dengan rentang waktu pengukuran mulai dari pagi (08.30 – ang (13.00 – 14.00), dan sore hari (15.00 – 17.00).



Tabel 18. Spesifikasi alat pengukuran

Parameter	Instrumen	Membuat	Jangkauan	Akurasi Dasar
Suhu udara	Hobo MX2302	Perusahaan Permulaan	-40 hingga 70°C	±0,25°C dari -40 hingga 0°C
Kelembaban relatif			0 hingga 100% RH	±2,5% dari 10% hingga 90%
Suhu udara	Log RC5	elit	-40 hingga 70°C	±0,5% dari -20/+40°C
Kelembaban relatif	Hobo UX 100	Perusahaan Permulaan	1% hingga 100% RH	± 2,5% dari 10% hingga 90% Resolusi 0,05%
Suhu dunia	Hobo Ext H21	Perusahaan Permulaan	-20°C hingga 50°C	0 hingga 2 detik untuk titik data pertama
Suhu luar ruangan	Hobo Ext H21	Perusahaan Permulaan	-20°C hingga 50°C	0 hingga 2 detik untuk titik data pertama
Kecepatan udara	Anemometer Digital	Instrumen Mastech	0~30m/detik	±5% ±0,1 Resolusi 0,01

Tabel 19. Kondisi pengukuran lapangan

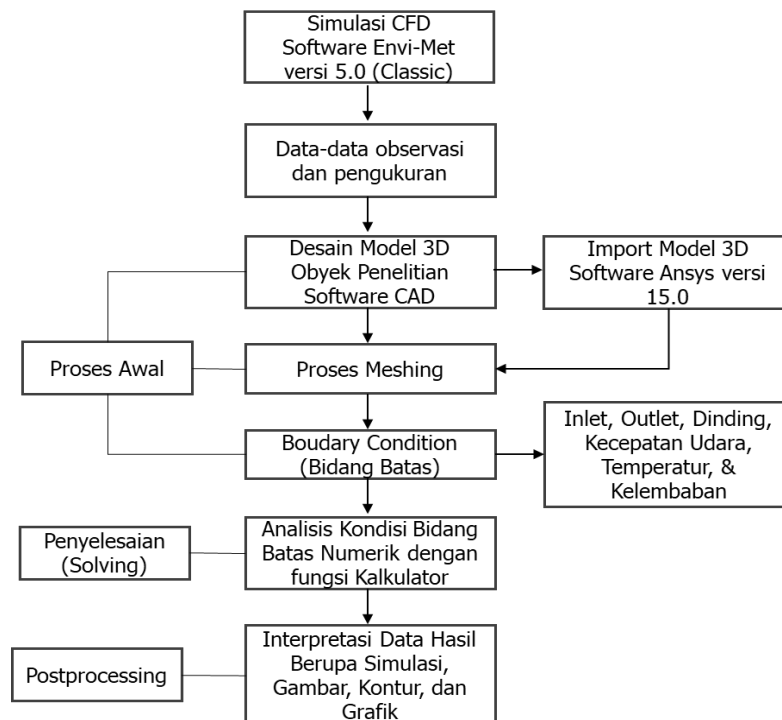
Objek penelitian	Waktu pengukuran	Parameter (variabel)		Jam	
		Jarak (m)	Orientasi	Pengukuran	Daftar pertanyaan
Mal Nipah	26 - 27 Juni 2022	2, 5, 10, 15, 20, dan 30	Utara, Selatan, Timur, Barat, dan Atas (batal)	08:30 – 12:30	08:30 – 12:30
				13:00 – 14:00	13:00 – 17:00
Maxone Hotel	28-29 Des 2022	2, 5, 10, 15, 20, dan 30	Utara, Selatan, Timur, Barat, dan Atas (batal)	08:30 – 12:30	08:30 – 12:30
				13:00 – 14:00	13:00 – 17:00
				15:00-17:00	

Analisis data diambil dari instrumen alat yang digunakan dan data fisik bangunan. Analisis lingkungan termal berupa suhu, kelembaban relatif, radiasi matahari, dan kecepatan aliran udara diamati sesuai standar ASHRAE 55 untuk menilai skala PMV dan PPD. Sensasi termal didasarkan pada skala kesan/sensasi termal TSV (*thermal perception vote*), kuesioner digunakan untuk mengevaluasi lingkungan termal pada saat pengukuran kemudian dilakukan pemeriksaan terhadap jenis pakaian yang digunakan, aktivitas yang dilakukan, dan uji coba pada kategori usia responden. Hasil kuesioner yang disebarkan kepada n = 30 responden yang memiliki rentang usia 18-45 tahun dengan jenis kelamin responden adalah perempuan. Pakaian yang digunakan diukur dalam



satuan clo (1 clo = 0,155 m².K/W), sedangkan aktivitas yang dilakukan diukur dalam satuan met (1 met = 58 W/m²).

PMV, PPD, dan TSV dihasilkan dan mengacu pada standar ASHRAE 55-2020. Standar ASHRAE 55-2020 memiliki 7 kriteria yaitu sangat dingin (-3), sejuk/dingin (-2), agak sejuk (-1), netral (0), agak hangat/panas (+1), panas (+2), sangat panas (+3). Nilai PMV, PPD, dan TSV diolah menggunakan software *Thermal Comfort Tool* (CBE) yang menghasilkan diagram Psikometri kemudian dilakukan uji regresi dan korelasi sebagai alat kontrol menggunakan indeks kenyamanan dan lingkungan termal. Tahap selanjutnya berdasarkan kajian penelitian yaitu lingkungan termal disimulasikan dengan analisis *Computational Fluid Dynamic (CFD) Envi-Met version 5.0 classic* kemudian dievaluasi dan dibandingkan pada kedua model simulasi. Simulasi lingkungan termal berupa peningkatan fitur air, penataan elemen vegetasi, dan penambahan area ventilasi. Adapun skema simulasi berdasarkan CFD seperti pada gambar berikut.



Gambar 52. Skema diagram simulasi CFD

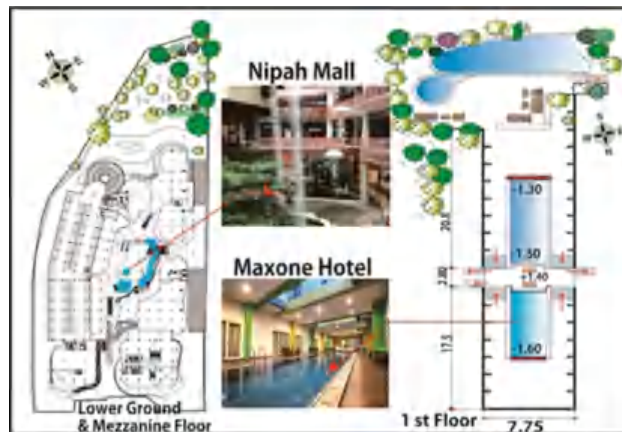
6.4. Hasil dan Pembahasan

Nipah Mall merupakan pusat perbelanjaan dan perkantoran modern bertingkat, gedung ini terletak di sebelah Timur wilayah administrasi Kota dan dibangun di atas lahan seluas 121.426 m² dengan luas tanah 3,5 Ha. vegetasi pada bagian depan dan belakang tapak termasuk vegetasi pada . Sistem pencahayaan dan ventilasinya lebih banyak menggunakan alami. Terdapat koridor void tanpa membran yang membuat sirkulasi



udara lebih segar dan terkesan terang serta luas. Di kawasan ini terdapat kolam dan air terjun buatan yang terletak di tengah bangunan. Pada penelitian ini unsur air pada bangunan berupa air terjun buatan dan kolam. Ketinggian air terjun buatan terdiri dari tinggi air terjun 1 ± 15 m, air terjun 2 ± 18 m, dan air terjun 3 ± 22 m. Volume kolam saat terisi $\pm 31,92$ m³ dengan suhu air kolam $27,1^{\circ}\text{C}$. Pengoperasian air terjun buatan ini otomatis setiap hari mulai pukul 15.10 – 17.00.

Maxone Hotel merupakan salah satu hotel di Kota Makassar yang mengusung konsep resort hotel dan memiliki ruang terbuka hijau yang luas dan tertata dengan baik. Hotel yang berdiri di atas tanah seluas 2,4 hektar dan luas bangunan sekitar 8.000 m² ini memiliki 155 kamar dan dilengkapi dengan berbagai fasilitas penunjang. Dengan konsep arsitektur tropis Maxone Hotel lebih memanfaatkan sistem pencahayaan dan ventilasi alami. Sistem pencahayaan dan pengkondisian udara buatan pada ruangan juga memanfaatkan penghawaan alami dengan bukaan jendela. Area kolam renang memanfaatkan udara dan pencahayaan alami melalui bukaan di sisi selatan, barat, timur dan atap. Terdapat area hijau dan pepohonan di sekitar bangunan.



Gambar 53. Lokasi penelitian Mal Nipah dan Maxone hotel

Gambar 53 menunjukkan lokasi penelitian dengan fokus objek yang diamati adanya unsur air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro pada bangunan, lingkungan termal, dan sensasi kenyamanan termal yang mengintegrasikan faktor lingkungan dan adaptasi perilaku serta analisis sebelum dan sesudah pemodelan untuk menentukan tingkat perubahan lingkungan termal. Kondisi objek penelitian seperti terlihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Kondisi dan situasi obyek penelitian

Subyek Penelitian	Orientasi Bangunan	Bentuk Ruang
Mal Nipah	Utara selatan	Trapesium
Maxone hotel	Utara selatan	Persegi panjang

Elemen air	Vegetasi	Bukaan/ventilasi
------------	----------	------------------



Jendela pasif dengan Double Skin	air terjun, kolam hias. Luas = 63,84 m ² Tinggi = 0,50 m Volumenya = 31,92 m ³ Ketinggian air terjun 22 m	Area hijau di luar gedung, vegetasi di dalam gedung seperti tanaman palem (Chamaedore), pakis, Sansevieria, dan Sri rejeki (Chinese evergreen). Pola menyebar. Proporsi vegetasi sebesar 25% dari luas lantai	Atap terbuka dan sebagian atap membran semi transparan Koridor kosong tanpa membran
Jendela pasif dengan material kaca masif	Kolam renang, kolam hias Luas = 81,92 m ² Tinggi = 1,50 m Volumenya = 118,78 m ³ Luas = 96m ² Tinggi = 0,50m Volumenya = 48m ³	Area hijau di luar gedung, Vegetasi di dalam gedung seperti tanaman palem (Chamaedore), Sansevieria, sirih gading (foto emas). Kanopi lebar, pola cluster. Proporsi vegetasi seluas 15% luas lantai.	Atap terbuka dan atap membran sebagian semi transparan

6.4.1. Data temperatur udara, kelembaban relatif, dan suhu radiasi

Pengukuran rata-rata suhu, kelembaban, dan kecepatan angin dalam dan luar ruangan dengan titik pengukuran, jarak, dan waktu pengukuran dilakukan pada area lantai dasar yang terdapat benda air dan unsur tumbuhan.

Pengukuran pada pukul 08.30 – 12.30 Nipah Mall dan hotel Maxone dengan 6 titik pengukuran observasi menunjukkan suhu minimum 27.32°C dan suhu maksimum 30.2°C sehingga rata-rata suhu di dalam gedung Mal Nipah berkisar 28.82°C, kelembaban minimum 55,36% dan maksimum 64,95% sehingga kelembaban rata-rata 62.65%, suhu radiasi minimum 31.3°C dan maksimum 32,5°C dan kecepatan angin minimum 1.6 m/s dan maksimum 2.1 m/s sehingga rata-rata kecepatan angin 1,78 m/s, sedangkan di gedung Hotel Maxone suhu minimum - maksimum berkisar antara 28,5 - 32,6°C sehingga suhu rata-rata 30,0°C, kelembaban 67%, di luar ruangan suhu berkisar antara 32,1 - 33,7°C, dan kecepatan angin rata-rata 0,66 m/s.

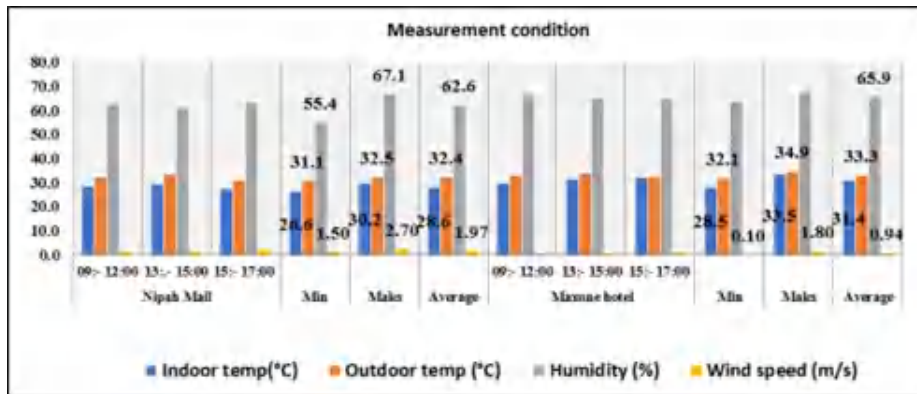
Pengukuran pada pukul 13.00 – 15.00 Nipah Mall dan hotel Maxone dengan 6 titik pengukuran pengamatan menunjukkan suhu minimum 29.3°C dan suhu maksimum 29.7°C sehingga rata-rata suhu di dalam gedung Nipah Mall 29.54°C, kelembaban minimum 55.46% dan maksimum 67.08% sehingga rata-rata 61.34%, suhu luar ruangan minimum 30.23°C dan maksimum 31.54°C sehingga rata-rata berkisar antara 31.15°C. Data kecepatan angin minimum 1.5 m/s dan maksimum 1.7

sehingga rata-rata kecepatan angin berkisar 1.56 m/s, sedangkan di hotel Maxone suhu minimum - maksimum berkisar antara 31.2 - 33.4°C sehingga rata-rata suhu 31.8°C, kelembaban 66%, di luar ruangan suhu berkisar antara 33,6 - 34,9°C, dan kecepatan angin rata-rata 0,88 m/s.



Pengukuran pada pukul 15.00 – 17.00 Nipah Mall dan Maxone hotel dengan 6 titik pengukuran pengamatan menunjukkan suhu minimum 26.6°C dan maksimum 28.4°C sehingga rata-rata suhu di Nipah Mall sebesar 27.38°C, kelembaban udara minimum 61.31%, maksimum 66.63 sehingga rata-rata kelembaban 63.74%, suhu radiasi luar ruangan minimum 30.9°C, maksimum 32.10°C sehingga suhu radiasi rata-rata 31.10°C. Kecepatan angin minimum 2.4 m/s, maksimum 2.7 m/s sehingga rata-rata 2,56 m/s sedangkan di Maxone Hotel suhu minimum - maksimum berkisar antara 32,5 - 33,5°C sehingga menghasilkan suhu rata-rata 32,7°C, kelembaban minimum 64% dan maksimum 65%, suhu radiasi luar ruangan minimum 33,0°C dan maksimum 33,8°C, dan kecepatan angin minimum dan maksimum yaitu 0,8 m/s dan 1,28 m/s.

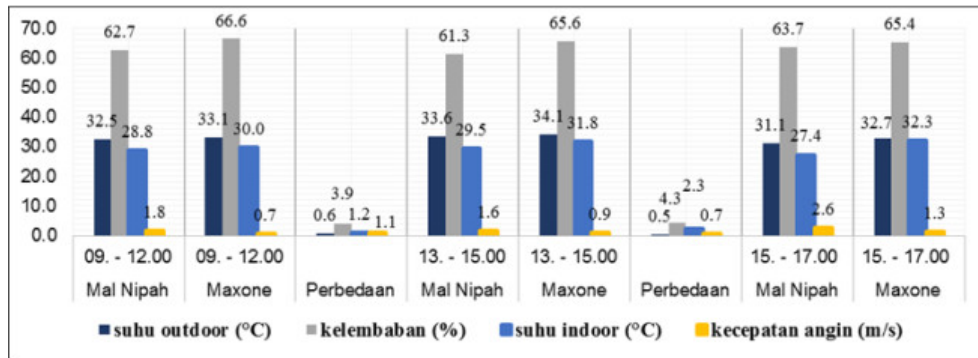
Kondisi pengukuran berdasarkan waktu pengukuran pada kedua objek penelitian ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 54 Nilai minimum, maksimum, dan rata-rata kondisi pengukuran suhu dalam ruangan, suhu radiasi luar, kelembaban, dan kecepatan angin pada dua objek penelitian

Gambar 54 menunjukkan terdapat perbedaan suhu udara dalam bangunan, suhu radiasi luar ruangan, kelembaban dan kecepatan angin pada pengukuran gedung Nipah Mall dan hotel Maxone, pengukuran pada pukul 08.30 – 12.00 WITA suhu dan kelembaban Nipah Mall dan hotel Maxone rendah serta kecepatan angin rata-rata adalah 1,22 m/s kemudian pengukuran pada pukul 13.00 - 15.00 suhu/temperatur meningkat antara 29.54 - 31.80°C dan kecepatan angin rata-rata mencapai 1.22 m/s sedangkan pada jam pengukuran pukul 15.00 - 17.00 suhu dan kelembaban berangsur-angsur turun menjadi rata-rata suhu 29,08°C dengan kelembaban 64,57% dan kecepatan angin antara 1,28 - 2,56 m/s.

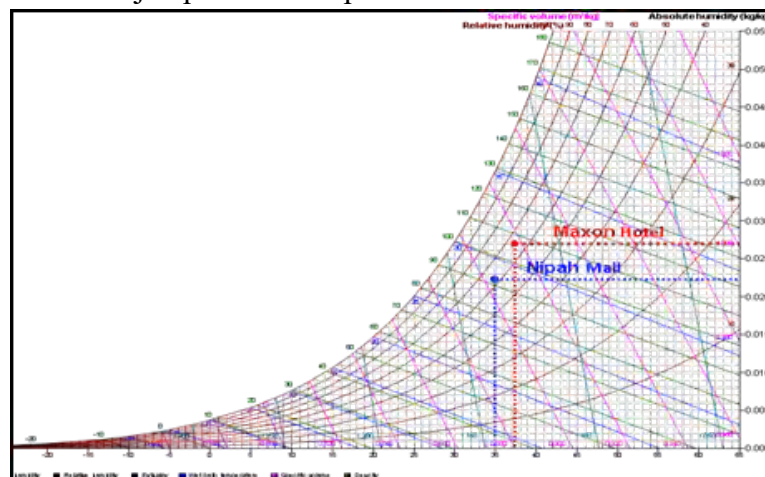




Gambar 55 Grafik hubungan suhu/temperature, kelembaban, suhu outdoor, dan kecepatan angin Mal Nipah dan Maxone hotel

Lantai pengukuran pada titik pengukuran pertama sampai kelima terdapat vegetasi namun tidak terdapat air, namun suhu dan kelembaban udara berubah-ubah karena beberapa faktor, pada titik objek pertama suhu dan kelembaban udara sangat tinggi karena kurangnya vegetasi, tidak adanya atap, dan ruang terbuka yang langsung terkena sinar matahari, pada titik pengukuran kedua suhu dan kelembaban udara agak tinggi karena tidak terlalu banyak tumbuh-tumbuhan dan ruang terbuka, pada titik pengukuran ketiga suhu dan kelembaban udara agak rendah karena terdapat vegetasi dan ruang sedikit tertutup, pada titik ukur keempat dan kelima suhu dan kelembaban rendah karena banyak vegetasi dan ruang sedikit tertutup.

Hasil analisis data pengukuran rata-rata suhu, kelembaban, dan suhu radiasi kemudian dimasukkan dan dianalisis dalam grafik Psikometri (Psychrometrics Program is property of Daikin Europe NV) untuk mengetahui karakteristik suhu udara pada kedua subjek penelitian seperti berikut ini.



Gambar 56. Grafik Psikometrik karakteristik udara pada Mal Nipah dan Maxone hotel
Sumber. Psychrometrics Program is property of Daikin Europe NV



Gambar 56 menunjukkan Grafik Psikometri yaitu grafik atau bagan yang menunjukkan komponen-komponen untuk mengetahui karakteristik suhu udara. Pada grafik psikometri, sumbu vertikal adalah kelembaban relatif, sedangkan sumbu horizontal adalah suhu dalam bangunan.

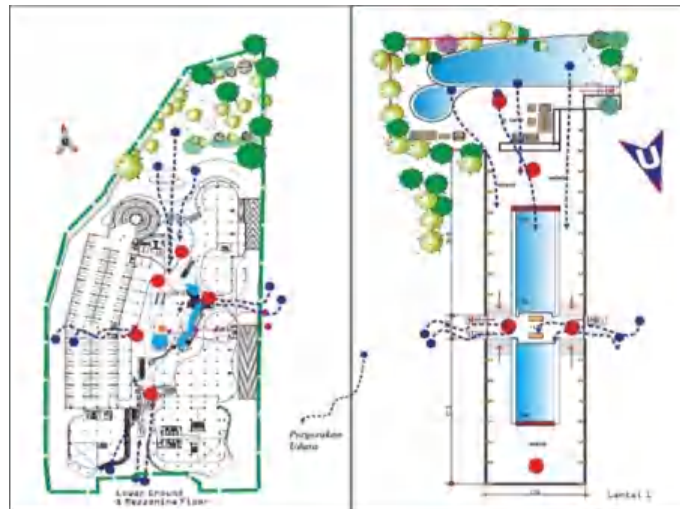
Hasil dari grafik Psychrometrik terlihat nilai dari kedua bangunan tersebut pada tabel 21 berikut.

Tabel 21. Psychrometric points

	Nipah Mall		Hotel Maxon
Dry temperature	34.9°C	Dry temperature	37.3°C
Wet temperature	28.6°C	Wet temperature	31.4°C
Dew point	26.7°C	Dew point	29.9°C
Relative humidity	62.60%	Relative humidity	65.90%
Airflow	2.0m ³ /s	Airflow	0.9m ³ /s

6.4.2. Data kecepatan dan aliran udara

Angin yang datang dari Timur dan datang dari Barat, akan memberikan porsi yang sama untuk dapat masuk ke dalam ruang yang menghadap Utara dan Selatan. Apabila posisi ruang penelitian menghadap ke Utara maka kecepatan angin yang masuk pada pagi hingga sore hari lebih besar dibandingkan dengan posisi ruangan di Timur atau Barat bangunan. Pergerakan udara di sekitar dan di dalam gedung dari hasil pengukuran lapangan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 57 Pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada Pada Mal Nipah dan Maxone hotel

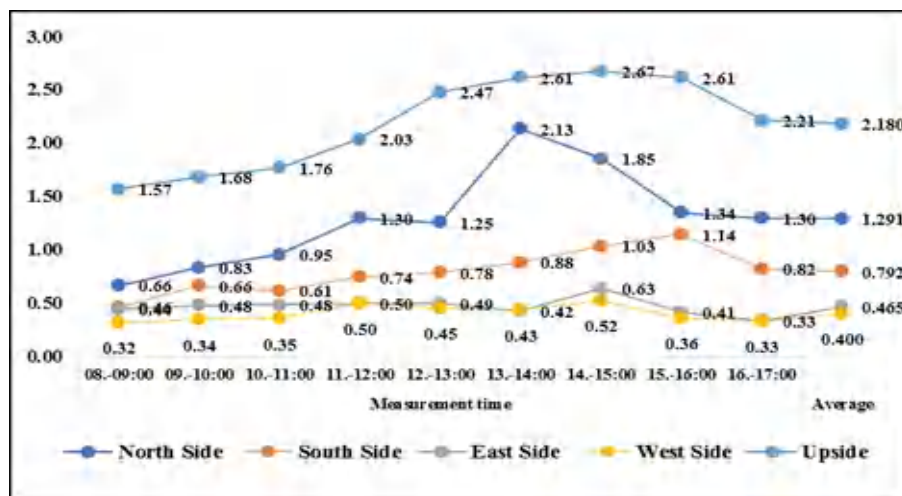
Dengan arah orientasi bangunan menghadap Utara – Selatan maka pergerakan udara di sekitar bangunan dan di dalam bangunan disesuaikan dengan keadaan di lapangan untuk memberikan perbandingan pada jenis bukaan, orientasi, ruang terbuka hijau, dan bangunan sekitar. Dengan memasukan data pengukuran di lapangan didapatkan hasil kecepatan dan aliran udara pada kedua obyek bangunan tersebut sebagai berikut :

6.4.2.1. Bangunan Mal Nipah

Analisis kecepatan dan aliran udara di sekitar dan di dalam bangunan Mal Nipah (gambar 57) sebagai berikut kecepatan angin (V) rata-rata di dalam pada pagi hingga sore hari cenderung tinggi sebesar 1,03 m/s. Sisi bagian atas (atap) merupakan area pergerakan udara lebih besar hingga mencapai rata-rata



2.18 m/s dan sisi Utara sebesar 1.29 m/s. Besarnya pergerakan udara pada sisi Utara dan atas di sebabkan karena akses pintu masuk dan keluar serta bukaan (void) yang agak besar. Selanjutnya pergerakan udara dalam bangunan pada siang hari (jam 12.00 – 15.00) cukup tinggi sebesar 1.09 – 1.34 m/s dan menjelang sore hari kecepatan angin bergerak turun menjadi 1,00 m/s. Hal ini sesuai dengan keadaan kecepatan angin global dimana kecepatan angin akan dirasakan kencang pada siang hari, sedangkan pada pagi hari angin cenderung berubah-ubah arah maupun kecepatannya. Hal ini dikarenakan terjadinya peralihan pergerakan udara dari arah Barat ke Timur. Sedangkan pada sore hari kecepatan angin menurun dimana terjadinya pergerakan udara dari Timur berbalik arah ke Barat.



Gambar 58. Grafik pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada Mal Nipah

Grafik di atas memperlihatkan bahwa kecepatan angin pada arah Utara – Selatan, Timur – Barat, serta pada area top floor bangunan meningkat pada siang hari sebesar 1.010 m/s menjadi berkurang ketika angin melalui koridor luar lantai bangunan (0,544 m/det). Selanjutnya kecepatan angin semakin berkurang ketika angin sampai ke dalam ruang (0,044 m/det). Pengurangan kecepatan angin ini disebabkan karena terjadinya gesekan (friksi) ketika angin mengenai dinding-dinding bangunan dan saat angin melewati koridor luar bangunan dan selanjutnya ketika angin melewati ventilasi menuju ke dalam ruang.

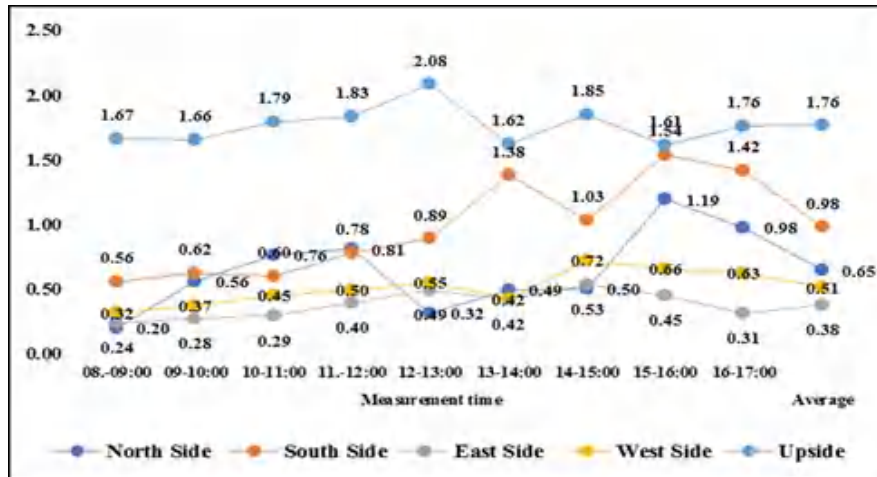
6.4.2.2. Bangunan Maxone hotel

Analisis kecepatan dan aliran udara di sekitar dan di dalam bangunan Maxone hotel sebagai berikut kecepatan angin (V) rata-rata pada pagi hingga sore hari sebesar 0,86 m/s. Sisi bagian atas (atap) bangunan merupakan area pergerakan

terbesar hingga mencapai rata-rata 1.76 m/s dan sisi Utara sebesar 0.65 m/s. Besarnya pergerakan udara pada kedua sisi tersebut karena akses area bangunan yang merupakan area kolam dan area terbuka hijau serta void) pada bagian atas yang agak besar ($\pm 95m^2$). Selanjutnya pergerakan



udara dalam bangunan pada sore hari (jam 13.00 – 17.00) cukup tinggi sebesar 1.02 – 1.09 m/s. Kecepatan dan pergerakan pagi hari hingga siang hari angin cenderung berubah-ubah arah maupun kecepatannya. Hal ini dikarenakan terjadinya peralihan pergerakan udara dari arah Timur ke arah Barat. Sedangkan pada sore hari kecepatan angin tinggi karena terjadinya pergerakan udara dari Barat berbalik arah ke Timur.



Gambar 59. Grafik pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada Maxone hotel

Grafik di atas memperlihatkan bahwa kecepatan angin rata-rata pada arah Selatan – Utara, Barat – Timur, serta pada area top floor bangunan meningkat pada jam 11.00-16.00 sebesar 0.92 m/s kemudian pergerakan udara relatif stabil hingga mencapai waktu sore hari.

6.4.3. Analisis PMV, PPD, SET, dan TSV

Sensasi dan kenyamanan termal yang diprediksi menggunakan Model PMV, PPD dan TSV dengan memasukan faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal yaitu : faktor lingkungan (Suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, suhu radiasi) dan faktor manusia (jenis pakaian dan aktivitas). PMV merupakan index yang mengindikasikan sensasi dingin (cold) dan hangat (warmth) yang dirasakan oleh manusia pada skala +3 sampai -3. Skala PMV ditentukan untuk menemukan permasalahan dari sensasi yang dirasakan dari segi bangunan dan dapat memberikan kenyamanan termal bagi pengguna ruang. Analisis Kenyamanan termal berdasarkan pada indeks PMV, PPD, dan SET di olah dan di simulasikan menggunakan *software Center for Built Environment (CBE) Thermal Comfort Tools*. Fitur software ini mampu membandingkan dua atau tiga skenario kenyamanan lingkungan termal (*compare tool*) sehingga dapat memprediksi

nyaman termal, menghemat sejumlah besar energi, dan menilai desain yang dengan konsumsi energi rendah. Tabel perbandingan data lapangan dan indeks ASHRAE 55 2020 didapatkan hasil evaluasi PMV dan kenyamanan termal yang dianalisis menggunakan software Center for the



Built Environment (<https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798>) seperti terlihat pada tabel 22 berikut.

Tabel 22. Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE

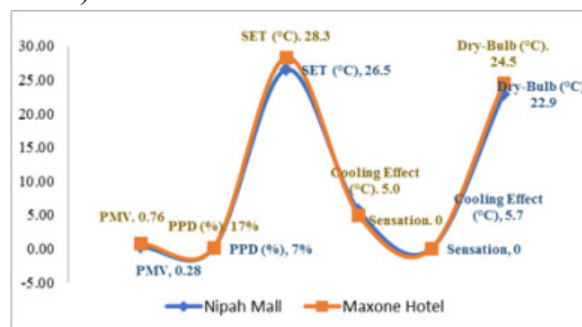
Data	Mal Nipah			Maxone hotel		
	08.30-12.30	12.-15.00	15.-17.00	08.30-12.30	12.-15.00	15.-17.00
PMV	0.15	0.37	0.10	1.42	1.45	0.23
PPD	5%	8%	7%	47%	48%	6%
SET	25.8	26.6	23.8	30.4	30.5	26.0

Tabel 22 memperlihatkan bahwa nilai PMV, PPD, dan SET pada lantai ukur dan pada setiap waktu ukur terdapat perbedaan yang signifikan, pada Mal Nipah nilai PMV, PPD, dan SET tertinggi berada pada jam 12.00-15.000 sedangkan pada Maxone hotel nilai PMV, PPD, dan SET tertinggi pada jam 08.30 sampai jam 15.00. Nilai PMV, PPD, dan SET pada kedua bangunan tersebut menurun pada jam 15.00-17.00. Perbandingan kenyamanan termal menurut standard ASHRAE 55 pada kedua bangunan tersebut yang di simulasikan dengan software CBE (<https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798>) dapat di lihat pada tabel berikut ini.

Tabel 23. Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE

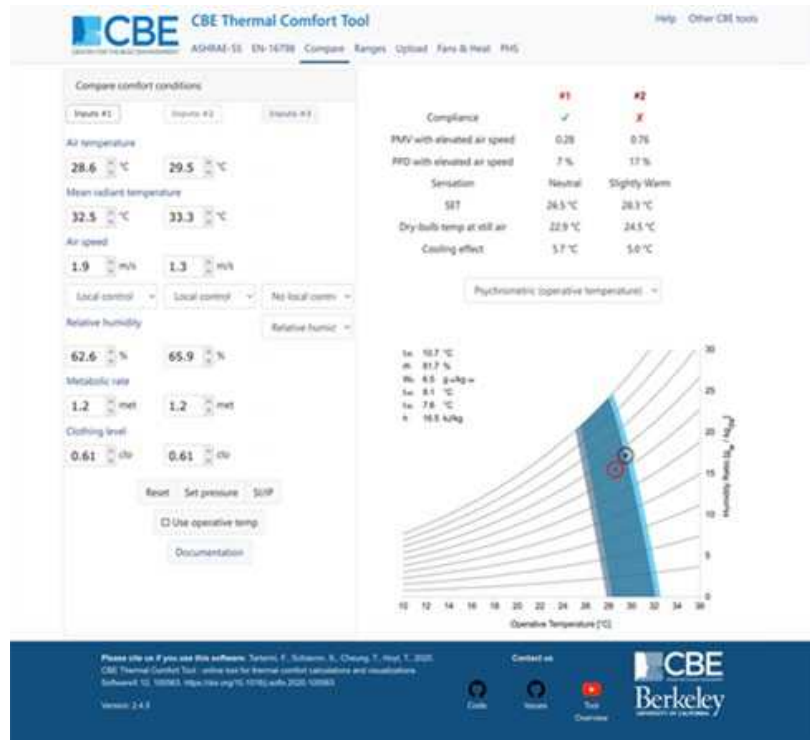
	PMV	PPD (%)	SET (°C)	Cooling Effect (°C)	Sensasi
Mal Nipah	0.28	7%	26.5	5.7	Netral
Maxone Hotel	0.76	17%	28.3	5.0	Sedikit Panas

Tabel 23 memperlihatkan bahwa nilai PMV, PPD, dan SET pada kedua obyek penelitian terdapat perbedaan dalam hal sensasi termal, pada Mal Nipah sensasi lingkungan termal berada pada posisi netral dengan nilai SET 26.5°C sedangkan pada Maxone hotel nilai SET 28.3°C atau sedikit panas, ini berarti standard ASHRAE 55 pada bangunan Maxone hotel tidak di terima dan pengunjung merasa tidak nyaman (+1 - +1.5).



Gambar 60. Grafik PMV Psychrometrik perbandingan obyek penelitian





Gambar 61. Nilai perbandingan PMV hasil Pengukuran sensasi termal Responden pada obyek penelitian

Sumber: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798>

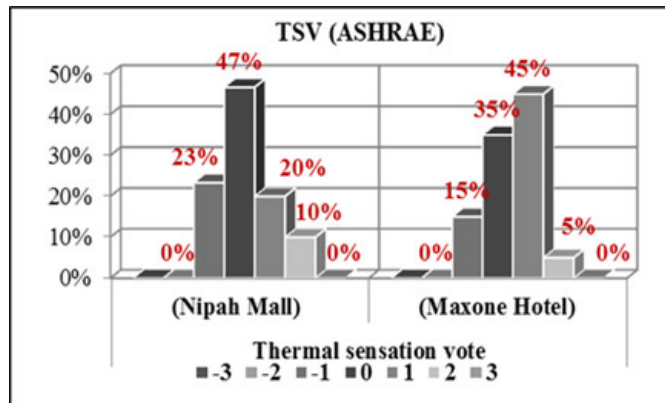
Gambar 60 dan 61 bagian PMV Psychrometric menunjukkan perbandingan nilai PMV, PPD, dan SET pada Mal Nipah (input#1) dan Maxone hotel (input#2). Pada input#1 lebih cenderung ke netral (0). Nilai PMV berada pada nilai 0,28, PPD 7%, SET 26.5°C, dry-bulb 22.9°C, dan cooling effect 5.7. Pada input#2 sedikit panas (+1). Nilai PMV 0.76, PPD 17%, SET 28.3°C, dry-bulb 24.5°C, dan cooling effect 5.0°C. Suhu udara, temperatur efektif, kelembaban udara, kecepatan angin, manusia, dan kegiatan sangatlah berpengaruh pada nilai PMV. Berdasarkan ASHRAE Standard 55 – 2020 terdapat kondisi yang dapat diterima sebagai kondisi yang nyaman yakni nilai PMV berkisar antara -0,5 sampai dengan +0,5. Kesimpulan dari bagian psychrometric diatas adalah Maxone hotel berdasarkan standar kenyamanan termal ASHRAE, titik merah sedikit keluar dari garis biru, dengan hasil PMV 0.76, dari skala termasuk dalam kategori hangat (warmth). Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan air dan vegetasi pada area tersebut kurang berpengaruh terhadap sensasi termal pengunjung.

6.4.4. Termal sensation vote (TSV)

Untuk menghitung sensasi termal (TSV) maka di laksanakan pengambilan kuisisioner pada kedua obyek penelitian. Hasil kuisisioner yang disebar n=30 yang memiliki umur dengan rentang 18-45 tahun dengan mayoritas adalah perempuan. Sebanyak 20 responden merupakan seorang ibu tangga, 10 responden merupakan seorang karyawan. Aktifitas di lakukan santai, berjalan, dan makan. Umumnya responden berpakaian formal.

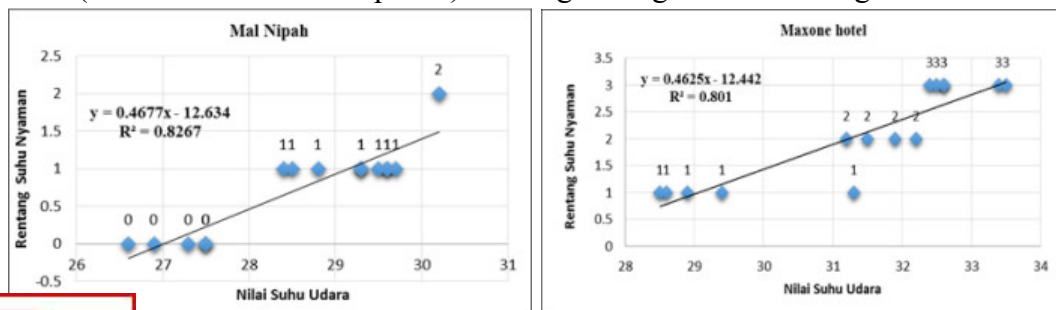


Karakteristik responden berupa tinggi badan dengan rentang 150-169 cm. Pada survei menggunakan kuisioner yang di sebar kepada pengunjung dengan ketentuan sebagai berikut yaitu responden di pilih secara acak, rentan waktu antara jam 08.30 – 17.00, responden tidak memakai jenis baju yang tebal seperti sweater dan sejenisnya sehingga angka tahanan pakaian adalah 0.6 clo, dan responden dengan aktivitas berdiri, berjalan, makan, dan berenang sehingga angka metabolic rate diambil 1.2 met. Untuk perhitungan sensasi termal thermal sensation vote (TSV) berdasarkan tujuh skala ASHRAE dengan ruang ventilasi alami dapat di lihat pada gambar 60.



Gambar 62. Prosentase sensasi termal (TSV) responden pada kedua obyek bangunan

Gambar 62 memperlihatkan bahwa sensasi kenyamanan termal (TSV) pada Mal Nipah dan Maxone hotel dapat di kategorikan bahwa pada area Mal Nipah pilihan responden tertinggi pada berada pada area 0 (netral) yaitu sekitar 46.7% sedangkan pada Maxone hotel pilihan responden tertinggi pada area +1 (agak panas) yaitu 45%. Indeks sensasi termal pada kedua bangunan tersebut sesuai dengan hasil pengukuran lapangan bahwa pada Mal Nipah suhu/temperatur berkisar antara 27.38 – 29.54°C dengan kelembaban rata-rata 61.58%, dan pada Maxone hotel suhu berkisar antara 28.5 – 33.5°C dengan kelembaban 64.7%. Dengan hasil tersebut dapat di analisis sensasi termal (TSV) responden terhadap suhu (suhu udara dan suhu operasi) secara garis regresi linier sebagai berikut.



Gambar 63. Grafik regresi linear pengukuran sensasi termal responden pada subyek penelitian

data yang di dihasilkan memperlihatkan bahwa suhu nyaman/netral = 0, responden merasa nyaman di capai pada angka 26.8°C suhu/temperature



udara (T_a) dengan rentang suhu nyaman responden antara -1 dan 0, sehingga batas di mana responden merasa sangat nyaman (batas bawah) pada angka 26.4°C suhu udara dan batas atas pada angka 27.8°C suhu udara.

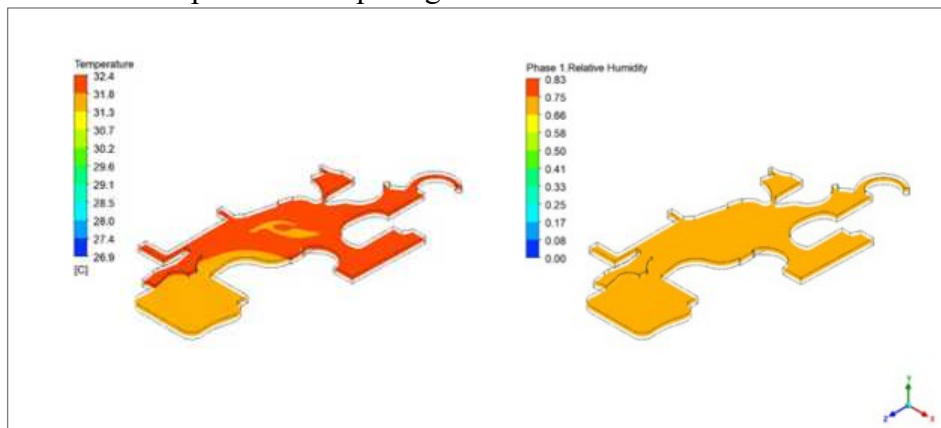
Tabel 24. Hasil persamaan uji regresi

Regression Statistics	Maxone hotel	Mal Nipah
Multiple R	0.886260452	0.899287098
R Square	0.785457589	0.808717285
Adjusted R Square	0.767579055	0.792777058
Standard Error	0.416745954	0.26354097
Observations	14	14

Persamaan regresi linear pada kedua bangunan tersebut yaitu nilai $y=0.4677x-12.634$ (Mal Nipah) dan $y=0.4625x-12.442$ (Maxone hotel), menjelaskan bahwa suhu udara (X) dengan rentang suhu nyaman (Y) pada kedua subyek tersebut berada pada jarak 0.80 – 1.00 dimana angka tersebut masuk dalam kategori sangat kuat hubungan korelasinya, sedangkan nilai koefisien determinasi untuk Mal Nipah sebesar 0.793 atau 79.3% sedangkan pada Maxone hotel sebesar 0.768 atau 76.8% yang berarti bahwa pada kedua bangunan tersebut nilai suhu udara (X) dapat menganalisis rentang suhu nyaman seseorang (Y) sebesar $>75\%$.

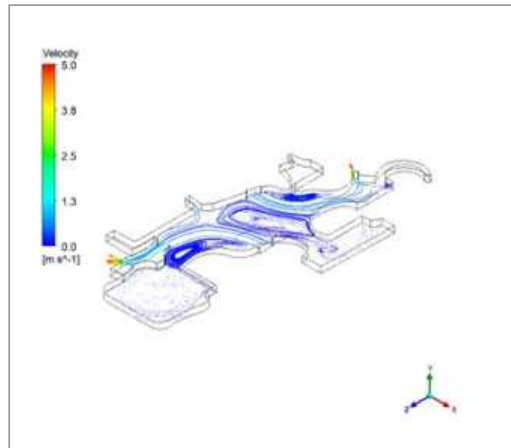
6.4.5. Data lingkungan termal obyek penelitian

Data hasil analisis pengukuran obyektif selanjutnya di simulasikan dengan CFD menggunakan Software Envi-Met versi 5.0 classic untuk melihat penggambaran simulasi sebelum dan sesudah pemodelan terhadap besaran suhu/temperatur, kelembaban relatif, dan kecepatan aliran udara pada kedua subyek penelitian. Dengan memasukkan data pengukuran lapangan ke dalam simulasi CFD seperti terlihat pada gambar 62-63.



Gambar 64 Simulasi CFD suhu dan kelembaban udara Mal Nipah

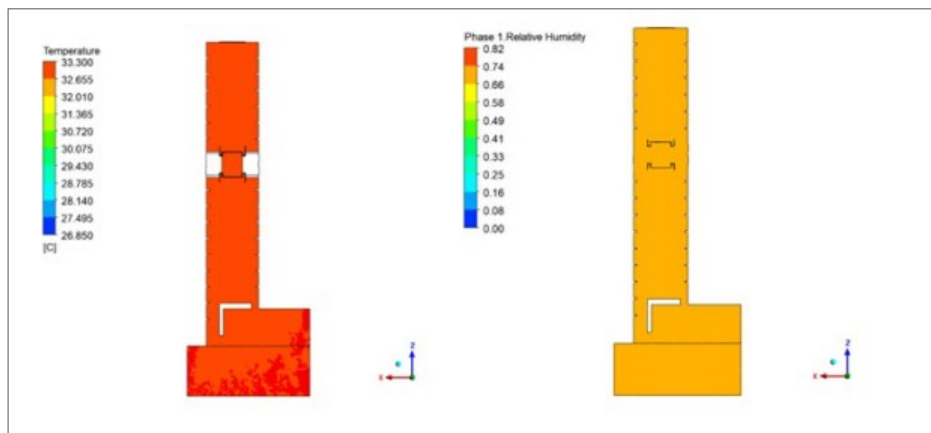




Gambar 65 Simulasi CFD kecepatan dan aliran udara Mal Nipah

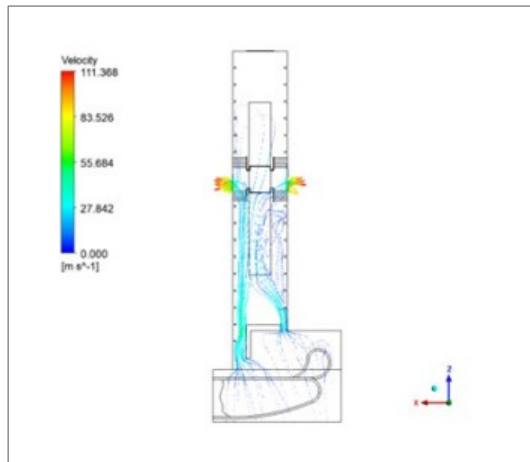
Berdasarkan hasil simulasi eksisting suhu, kelembaban dan pergerakan udara (gambar 64 dan 65) Mal Nipah memperlihatkan bahwa suhu rata-rata mencapai 32.2°C dan kelembaban 67% dan pergerakan udara berkisar antara $0.5 - 1.0 \text{ m/s}$ sehingga dapat dikatakan bahwa pengaruh kolam buatan dan air terjun di kawasan tersebut tidak berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengunjung, karena belum memenuhi standard kenyamanan termal berdasarkan ASHRAE 55 2020.

Selanjutnya dengan memasukan data pengukuran lapangan ke dalam simulasi CFD suhu, kelembaban relatif, dan pergerakan udara Maxone hotel terlihat pada gambar 66 dan 67.



Gambar 66 Hasil Simulasi CFD suhu dan kelembaban Maxone hotel





Gambar 67 Simulasi CFD Kecepatan dan aliran udara Maxone hotel

Hasil simulasi eksisting suhu, kelembaban, dan pergerakan udara Maxone hotel memperlihatkan bahwa suhu rata-rata mencapai 33.3°C , kelembaban 72%, dan pergerakan udara berkisar antara $0.2 - 0.8 \text{ m/s}$ sementara area dekat kolam renang suhu sekitar 32.1°C dan kelembaban 69%, sehingga dapat dikatakan bahwa pengaruh kolam renang pada area tersebut tidak berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengunjung berdasarkan standard ASHRAE 55 2020.

Data simulasi eksisting kecepatan angin dan aliran udara pada kedua bangunan tersebut dimana orientasi bukaan inlet tidak hanya mempengaruhi kecepatan udara, tetapi juga pola aliran udara dalam ruangan, sedangkan lokasi outlet hanya memiliki pengaruh kecil dalam kecepatan dan pola aliran udara. Pada Mal Nipah perletakan bukaan udara besar berada di sisi atas yang merupakan inlet sekaligus outlet akan menciptakan pola aliran udara yang bergerak dari inlet ke outlet. Orientasi inlet sisi Utara merupakan potensi arah datang angin akan mempengaruhi kecepatan udara untuk mencapai kenyamanan termal di dalam bangunan. Pada Maxone hotel inlet sisi atas merupakan bukaan yang memberikan pola aliran udara yang masuk kedalam ruangan sekaligus juga merupakan outlet aliran udara, karena pada sisi Selatan tidak terdapat bukaan sehingga aliran udara mengalami friksi termasuk pada inlet sisi Timur dan Barat di mana bukaan tidak terlalu besar. Hal ini lah yang mempengaruhi kenyamanan termal sehingga suhu dan kelembaban agak tinggi.

6.4.6. Simulasi Pemodelan Computational Fluid Dynamic (CFD)

Integrasi model lingkungan termal dengan elemen air dan vegetasi untuk memprediksi dan menganalisis efeknya terhadap iklim mikro dalam bangunan di evaluasi dan komparasi berdasarkan hasil simulasi eksisting dan hasil pemodelan termal CFD ini melibatkan penilaian dan perbandingan efek dari penggunaan bukaan terhadap kondisi termal di lingkungan yang dianalisis.

dua obyek penelitian aspek yang dievaluasi dan dibandingkan yaitu kenyamanan termal dan kenyamanan termal berdasar pada standard ASHRAE 55. Analisis ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti sensasi termal, pergerakan udara (ventilasi), dan pengaruh lingkungan termal (pengaturan vegetasi dan

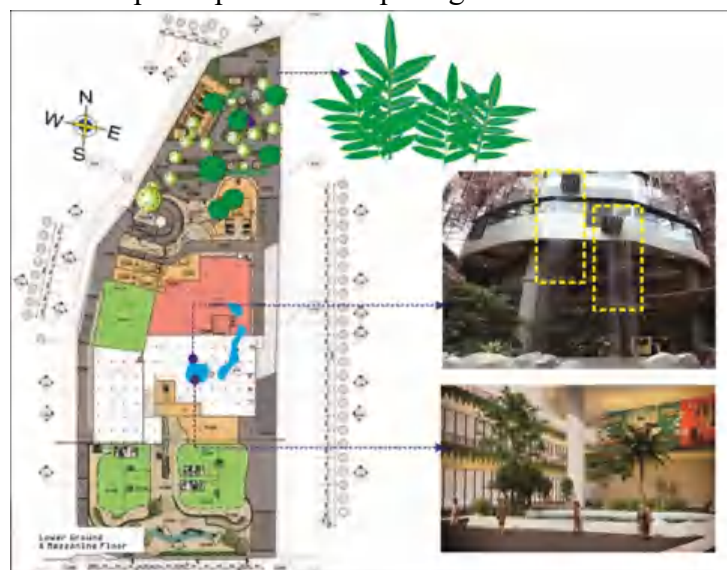


peningkatan fitur air) dalam menciptakan kondisi termal yang nyaman dan efisien energi. Berdasarkan hal tersebut maka di lakukan pemodelan yaitu variasi ventilasi, pengaturan vegetasi berdasarkan jenis dan tajuk tanaman, peningkatan fitur air yang bergerak, dan dimensi kolam air. Indikator pemodelan simulasi CFD dari kedua obyek bangunan seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 25. Variasi dan pemodelan obyek penelitian

Indikator	Variasi dan pemodelan	
	Mal Nipah	Maxone Hotel
Ventilasi Saluran masuk dan keluar	Ventilasi tambahan berukuran 2,00 m ² arah Barat	Penambahan ukuran ventilasi sebesar 1,50 m ² pada sisi arah selatan, timur, dan barat
Elemen air dan kolam	Tingkatkan jam operasional menjadi 2 kali sehari pada pukul 12:00-14:00 dan 15:30-17:00. Peningkatan dimensi kolam sebesar ± 1,00 m	Pembuatan air mancur di sekitar kolam dan fitur air kolam bergerak. Pertambahan dimensi kolam sebesar ± 30 cm.
Vegetasi dan lanskap	Penataan vegetasi kanopi dan kerapatan kanopi seperti <i>Arecaceae</i> , <i>Polypodiophyta</i> , <i>Sansevieria</i> , dan <i>Aglonema</i> pada sisi barat bangunan.	Meningkatkan proporsi vegetasi dari 15% menjadi 30% Penataan vegetasi tajuk dan kerapatan tajuk seperti <i>Arecaceae</i> , <i>Polypodiophyta</i> , <i>Sansevieria</i> , dan <i>aglonema</i> di sisi Utara.

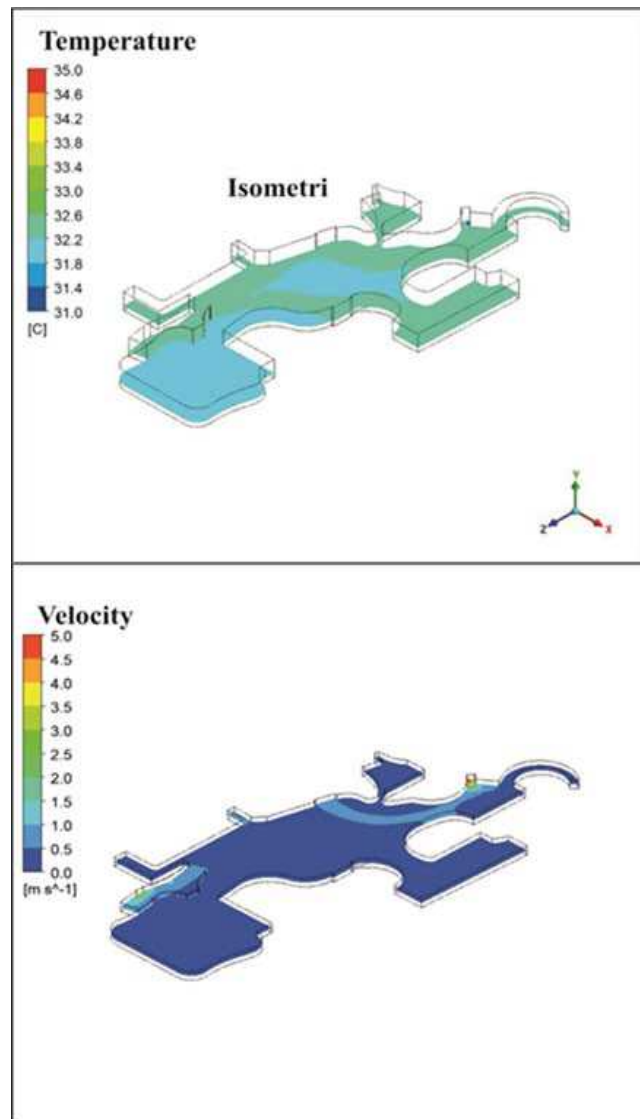
Pemodelan berdasarkan variasi ventilasi, pengaturan elemen air dan vegetasi pada bangunan Mal Nipah seperti terlihat pada gambar 65.



Gambar 68 Variasi dan pemodelan Mal Nipah



Gambar 68 memperlihatkan pemodelan dan variasi bukaan pada sisi arah Barat sebesar 2.00m^2 kemudian pengaturan dan penambahan vegetasi peneduh pada bagian sisi Utara dan Selatan, serta operasional pengoperasian air terjun buatan 3 kali dalam sehari. Setelah di lakukan pemodelan dan variasi ukuran bukaan pergerakan udara terbesar berada ada sisi atas (void) sebesar 2.63 m/s dan pada bukaan arah Barat sebesar $0.98 - 1.09\text{ m/s}$. Pemodelan CFD lingkungan termal seperti terlihat pada gambar 69 berikut.



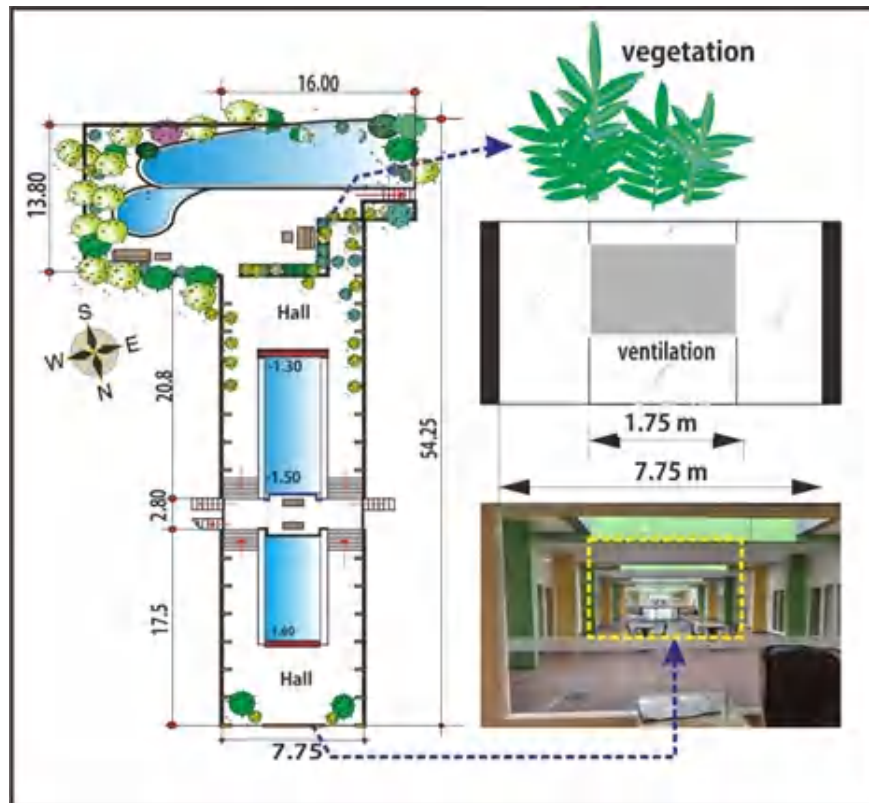
Gambar 69 Pemodelan simulasi CFD suhu, kelembaban, dan pergerakan udara pada Mal Nipah



ah di lakukan pemodelan pada bangunan Mal Nipah hasil simulasi suhu, an, suhu radiasi, dan pergerakan udara berdasarkan gambar 19 atkan bahwa suhu rata-rata sekitar 27°C , kelembaban 63%, dan udara berkisar antara $0.9 - 1.5\text{ m/s}$.

Pemodelan variasi elemen arsitektural berupa air, vegetasi, ventilasi berdasarkan hasil simulasi termal didapatkan penurunan termal pada Mal Nipah 5.2°C dan kelembaban 4%, terlihat bahwa area yang lebih sejuk berada pada bagian tengah, aliran udaranya berwarna biru, sehingga pengaruh vegetasi dan pengaturan waktu operasional air terjun buatan pada area tersebut sangat berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengunjung.

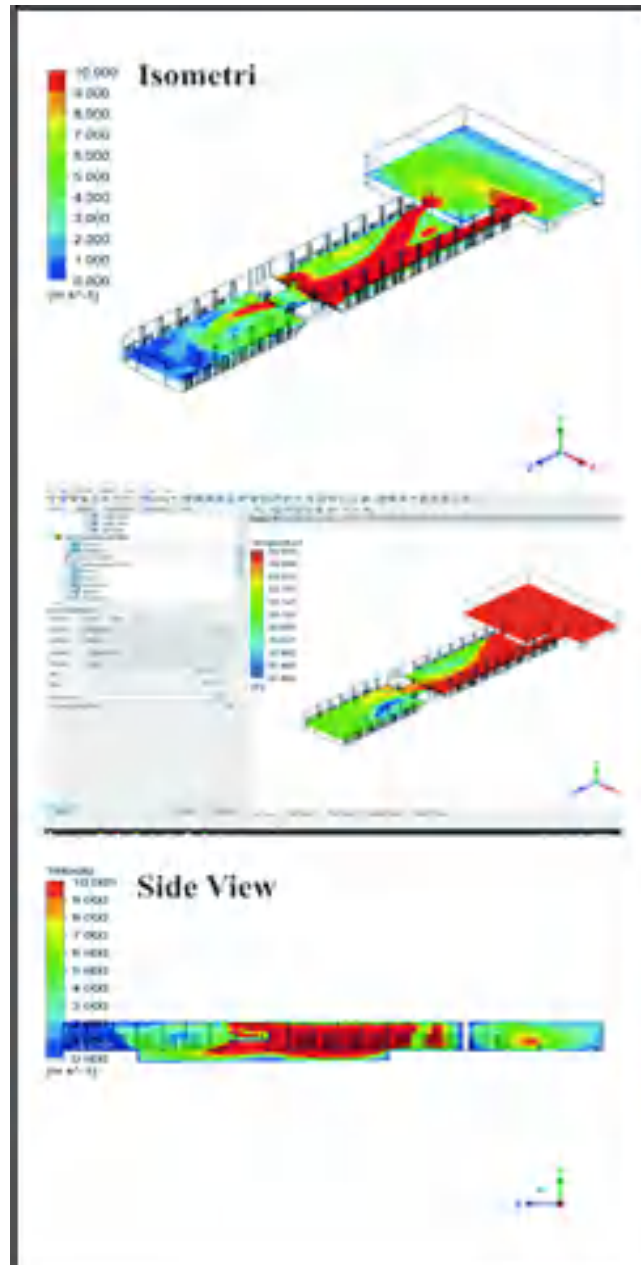
Pemodelan berdasarkan variasi ventilasi, pengaturan elemen air dan vegetasi pada bangunan Maxone hotel seperti terlihat pada gambar 70.



Gambar 70 Variasi dan pemodelan Maxone hotel

Gambar 70 memperlihatkan pemodelan dan variasi bukaan pada sisi arah Utara sebesar 1.4 m^2 , pada arah Timur sebesar 4.5 m^2 , dan sisi arah Barat 4.52 m^2 kemudian pengaturan dan penambahan vegetasi peneduh pada bagian sisi Utara dan Selatan, serta peningkatan air mancur sekitar kolam renang. Setelah dilakukan pemodelan dan variasi ukuran bukaan pergerakan udara terbesar berada ada sisi atas (void) sebesar 2.63 m/s dan pada bukaan sisi Utara, Timur, dan Barat sebesar $0.98 - 1.09\text{ m/s}$. Pemodelan CFD lingkungan termal seperti terlihat pada gambar 71 berikut.





Gambar 71. Model CFD Simulasi Termal Maxone hotel

Hasil simulasi termal memperlihatkan bahwa suhu ruangan semioutdoor 34°C , suhu rata-rata dalam ruangan (indoor) mencapai 29.3°C , kelembaban relatif 66%, dan kecepatan dan aliran udara berkisar antara $0.98 - 1.09 \text{ m/s}$. Berdasarkan hasil simulasi termal didapatkan penurunan termal pada Maxone hotel sebesar 2.2°C dan kelembaban 4% dari hasil pengukuran lapangan, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh perubahan variasi bukaan, pengaturan jenis vegetasi, dan peningkatan pergerakan sangat signifikan terhadap lingkungan dan kenyamanan termal ruang.

Perbandingan data simulasi eksisting, pemodelan simulasi CFD, dan standar ASHRAE 55 2020 dapat di lihat pada tabel berikut ini.



Tabel 26. Perbandingan hasil simulasi eksisting, model modifikasi CFD, dan standard ASHRAE pada Mal Nipah dan Maxone hotel

Hasil rata-rata	Mal Nipah		
	Kondisi Eksisting	CFD Model	Standar ASHRAE
Suhu	32,2°C	27,2°C	Batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7 °C
Kelembaban relatif	67,1%	63%	
Kecepatan angin	0,5 – 1,0 m/s	0,9-1,5 m/s	

Hasil rata-rata	Hotel Maxon		
	Kondisi Eksisting	CFD Model	Standar ASHRAE
Suhu	33,3°C	29,3°C	Batas penerimaan 80% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,5 °C
Kelembaban relatif	72%	66%	
Kecepatan angin	0,2 - 0,8 m/s	0,98 - 1,09 m/s	

Sumber: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798> dan CFD program, 2023

Tabel tersebut di atas memperlihatkan bahwa berdasarkan hasil pemodelan simulasi lingkungan termal kemudian di bandingkan dengan standard ASHRAE 55 untuk menemukan model prediksi termal pada kedua obyek penelitian di dapatkan hasil batas penerimaan termal untuk suhu operasi sebesar 25.7 hingga 32,7°C sehingga dikategorikan dalam kondisi nyaman.

Komparasi temuan penelitian dengan penelitian sebelumnya yaitu penelitian ini melibatkan perbandingan antara dua lokasi yang berbeda, perbedaan pola aliran dan sirkulasi udara, penggabungan dua elemen arsitektural berupa air dan vegetasi, serta penggunaan model simulasi komputer. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan elemen air dan vegetasi dapat menciptakan zona pendinginan mikro di sekitar bangunan dengan memperhatikan pola aliran udara, bukaan ventilasi, dan pengaturan serta perletakaan elemen air dan vegetasi. Berdasar pada hal tersebut diatas maka evaluasi yang di lakukan sebagai berikut:

1. Sejauh mana penggunaan air dan vegetasi dapat menurunkan suhu udara secara signifikan di area tertentu. Perbedaan suhu dengan dan tanpa elemen tersebut.
2. Penggunaan elemen air dan vegetasi dapat mengurangi kebocoran panas dari bangunan dan pengaruhnya terhadap penurunan suhu dan kebutuhan pendinginan.
3. Pengamatan terhadap tingkat evapotranspirasi yang berbeda dari elemen air dan vegetasi dapat mempengaruhi suhu udara dan kelembapan di sekitar bangunan. Pengaruh elemen air dan vegetasi terhadap ventilasi alami dan kualitas udara di dalam ruangan. Pemanfaatan elemen air dan vegetasi dalam desain arsitektural.



6.5. Kesimpulan

Hasil analisis lingkungan termal pada penelitian ini menunjukkan bahwa Indeks PMV, PPD, dan SET pada kedua obyek bangunan pada setiap waktu ukur terdapat perbedaan yang signifikan, dimana Mal Nipah nilai PMV, PPD, dan SET tertinggi berada pada jam 12.00-15.00 sedangkan pada Maxone hotel nilai PMV, PPD, dan SET tertinggi pada jam 08.30 sampai jam 15.00. Nilai PMV, PPD, dan SET pada kedua bangunan tersebut menurun pada jam 15.00-17.00. Pada Mal Nipah sensasi lingkungan termal berada pada posisi netral dengan nilai SET 26.5°C sedangkan pada Maxone hotel nilai SET 28.3°C atau sedikit panas, ini berarti standard ASHRAE 55 pada bangunan Maxone hotel tidak diterima dan pengunjung merasa tidak nyaman. Nilai PMV 0.76 dari skala termasuk dalam kategori hangat. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan air dan vegetasi pada area tersebut kurang berpengaruh terhadap sensasi termal pengunjung.

Berdasarkan hasil simulasi lingkungan termal, suhu tertinggi pada Nipah Mall sebesar 32.2°C dan kelembaban 67% sementara pada Maxone hotel suhu tertinggi sebesar 33.3°C dan kelembaban 72%. Nilai simulasi CFD berdasarkan pada keberadaan air dan vegetasi pada bangunan di dapatkan penurunan termal pada Mal Nipah 5.2°C dan kelembaban 4% sementara pada Maxone hotel penurunan termal suhu 2.2°C dan kelembaban 4%. Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa keberadaan elemen air dan vegetasi pada Maxone hotel tidak berpengaruh secara signifikan. Hal ini di sebabkan karena pergerakan udara pada area tersebut kurang baik karena posisi inlet dan outlet tidak seimbang. Hasil simulasi kecepatan angin pada kedua bangunan tersebut dengan orientasi bangunan menghadap Utara Selatan maka sisi inlet Timur dan inlet Barat harus diperhatikan lebar dan tinggi bukaan.

Daerah dengan iklim tropis panas dan lembab seperti di Indonesia yang memiliki kelembaban yang tinggi maka modifikasi udara luar yang masuk kedalam bangunan dilakukan dengan membuat fitur air yang bergerak (air mancur) dan elemen lansekap. Air dapat menurunkan suhu dan lansekap dapat menurunkan kelembaban dalam ruangan melalui proses penguapan dan pergerakan aliran udara melalui inlet dan outlet dapat mengubah iklim mikro pada bangunan. Berdasarkan hal tersebut model simulasi lingkungan termal dalam konteks iklim mikro dalam bangunan, kenyamanan termal, pergerakan udara, serta elemen arsitektural merupakan potensi penting yang dapat memberi nilai positif, meningkatkan kualitas lingkungan dalam ruang, efek pendinginan pasif, dan menjaga kestabilan iklim mikro pada skala ruang maupun bangunan.



6.6. Referensi

- ANSI/ASHRAE 55. (2020). Kondisi Lingkungan Termal Standar untuk Hunian Manusia, American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers Inc. Atlanta, AS, <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-hunian-manusia>.
- Albatayneh, A., D. Alterman., A. Page., B. Moghtaderi. (2018). Pendekatan alternatif untuk simulasi efek angin terhadap kinerja termal bangunan. *Seri Jurnal Internasional Fisika Komputasi*, vol. 1, tidak. 1, hal.35-44, DOI: 10.29167/ali1p35-44.
- Adityo., A. (2016). Peningkatan Kenyamanan Termal Koridor Jalan Melalui Desain Vegetasi Berbasis Simulasi, Studi Kasus: Jalan Supadi, Kotabaru, YOGYAKARTA. *Jurnal Arsitektur Komposisi*, vol. 11, no.3, hal.159-168.
- Lingkungan yang dibangun di tengah., “Alat Kenyamanan Termal,”<https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798>. (diakses 9 Juli 2023).
- Fibrianto, JZ, Hilmy, M. (2018). Efektivitas Peneduh Pohon dan Bangunan pada Koridor Jalan Perkotaan untuk Mencapai Kenyamanan Termal. *EMARA: Jurnal Arsitektur Indonesia*, vol. 4, no.1, hal.65-70, DOI.org/10.29080/emara.v4i1.177.
- Fabozzi, M., Dama, A. (2020). Studi lapangan tentang kenyamanan termal di ruang kelas universitas yang berventilasi alami dan ber-AC. *Jurnal Lingkungan Dalam dan Buatan*, vol. 29, tidak. 6, hal.851-859,<https://doi.org/10.1177/1420326X19887481>.
- Hamzah, B., Gou, Z., Mulyadi, R., dan Amin, S. (2018). Analisis Kenyamanan Termal Siswa Sekolah Menengah di Daerah Tropis. *Bangunan*, 8.
- Hendrawati, D. (2016). Air sebagai Alat Pengendali Iklim Mikro pada Bangunan Gedung. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, volume 18, no.2, hal: 97 – 106.
- I. Rajapaksha., H. Nagai., dan M. Okumiya. (2018). Modifikasi Termal Dalam Ruangan pada Halaman Rumah Berventilasi di Daerah Tropis. *Jurnal Arsitek Asia. Membangun. Bahasa Inggris*, jilid. 1, tidak. 1, hal.87–89,<https://doi.org/10.3130/jaabe.1.87>.
- Ilman Bastian, S. (2015). Pengaruh Desain Bukaannya pada Selubung Bangunan Terhadap Efisiensi Energi pada Rumah Susun Sederhana Sewa. *Jurnal yang tidak diterbitkan*, Diambil dari<https://jurnalonline.itenas.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/628>.
- J.Nazhatulzalkis., KMFaris., W. Suriani., K.Mustafa. (2022). Lingkungan Termal Dalam Ruangan di Bangunan Perumahan Beriklim Tropis. *Kongres Teknologi Berkembang untuk Pembangunan Berkelanjutan (ETSDC)*, DOI: 10.1051/e3sconf/20140301026.
- Koerniawan, MD, Gao, W. (2015). Investigasi dan evaluasi kenyamanan termal dan kenyamanan berjalan kaki pada iklim panas-lembab Studi kasus: Ruang terbuka Kuningan-Superblock di Jakarta. *Jurnal Internasional Teknologi Bangunan, taan, Interior dan Lanskap (BUILT)*, vol. 6, hal.53-72,<https://ph02.tci-2016.org/index.php/BUILT/article/view/169293>.



- Kuru, M., Calis, G. (2017). Memahami Hubungan Parameter Lingkungan Dalam Ruangan dan Sensasi Termal Pengguna Melalui Analisis Statistik. *Procedia Eng.* 196, hlm.808–815.
- Latifah, N. L., Perdana, H., Prasetya, A., Siahaan, O. P. (2013). Thermal Comfort Study on Student Centre Building Itenas Bandung. *REKA KARSA Journal*, vol. 1.
- Moore, CW, Lidz, J. (1994). *Air dan arsitektur*. Thames dan Hudson, London.
- Nursulistiyono, H., Utama, ARI, Sujatmiko, W. (2019). Memodelkan bukaan angin untuk simulasi dinamika fluida komputasi (CFD). *eProsiding Teknik*, vol. 6, tidak. 2, hal.5178-5182, ISSN.2355-9365.
- Permana, T., Sawab, H. (2020). Kehadiran Angin pada Perumahan Tipe 70 M² (Simulasi Kenyamanan Termal Perumahan), *Jurnal Raut*, vol.1, no.2, pp.33-41.
- Qurrotul A'yun., PCW, Muhammad Choirul Khafidz. (2018). Eksplorasi Desain Ventilasi Ruang Kuliah untuk Mencapai Kenyamanan Termal. *EMARA - Jurnal Arsitektur Indonesia*, vol. 4, tidak. 2, hal.119-125, DOI:<https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>.
- Rahman, A., Tharziansyah., Nurfansyah., dan Agusniansyah. (2021). Simulasi dan Analisis Lingkungan Termal dan Bangunan Membandingkan Kondisi Lahan Basah di Banjarmasin-Indonesia dan Saga-Jepang. *Seri Konferensi IOP: Ilmu Bumi dan Lingkungan 764*, Penerbitan IOP, Konferensi Internasional Arsitektur dan Perencanaan Indonesia ke-5, DOI:10.1088/1755-1315/764/1/012001.
- Rahim, R., Asniawaty., Maresenjoyo. T., Amin, S., Hiromi, R. (2016). Karakteristik Data Suhu Udara dan Kenyamanan Termal di Makassar. *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI Universitas Hasanuddin Makassar*.
- Rahim, R., Hamzah, B., Mulyadi, R., Jamala, N., Kusno, A.. (2017). Outdoor Air Temperature and Relative Humidity.
- Rahmawati, R., Akbar, AKF, Agustin, FK (2016). Pengudaraan Alami Terkait Sistem Ventilasi Terhadap Kenyamanan Termal Rumah Susun Industri Bagian Dalam. *REKA KARSA*, vol. 4(1), DOI:<https://doi.org/10.26760/rekakarsa.v4i1.1377>.
- Sugini. (2004). Interpretasi Ketentuan Kualitas Kenyamanan Termal Ruang dengan Variabel Iklim Ruang. *LOGIKA*, Volume 1 Nomor 2(3), hlm.3-17, Diambil dari <http://journal.uui.ac.id/index.php/index/oai>.
- Syarifah, HN (2021). Fungsi vegetasi terhadap pengendalian kenyamanan termal dalam pengembangan desain lansekap kawasan Waduk Ria Rio. Jakarta Timur.
- Setyowati, E. (2015). *Termal dan Akustik*, buku ajar Fisika Bangunan edisi ke-2 Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro terbitan CV. Tiga media pratama, ISBN:978-602-14598-4-3.

. (2016). Membangun Reayasa Sistem Simulasi Termal Menggunakan Alat Mutating Fluid Dynamic (CFD). *Jurnal Pengusaha Techno Acta*, vol. 1.

. (2013). *Akuakultur: arsitektur dan air*”, Elsevier.



- Wong, NH, Khoo, SS (2003). Kenyamanan termal di ruang kelas di daerah tropis, Energi dan bangunan, vol. 35(4), hal.337-351.
- Yulita, EN (2019). Pengelolaan Lanskap Terhadap Kenyamanan Termal Berdasarkan Indeks THI di Taman Singha Merjosari Kota Malang, Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur, vol. 6, no.4.
- Zango, MS, Danladi, A., Abdullah, IA, Lukas, BJ (2022). Vegetasi sebagai Strategi untuk Meningkatkan Kinerja Termal Halaman Tertutup Sepenuhnya di Iklim Tropis, Texas Journal of Agriculture and Biological Sciences, vol. 2, hal.10-24,<https://zienjournals.com>.
- Zhang, J., Lie, P., Ma, Mingxiao. (2022). Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal di Ruang Kelas Universitas selama Musim Pemanasan. Bangunan, jilid. 12, hal.1-20,<https://doi.org/10.3390/buildings12070912>



BAB VII

PEMBAHASAN UMUM

7.1. Temuan Utama Penelitian

Penelitian merupakan proses sistematis yang dilakukan untuk memperoleh pengetahuan baru, memvalidasi teori yang ada, atau menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian. Temuan utama penelitian adalah hasil-hasil penting yang ditemukan dalam rangkaian penelitian tersebut. Temuan utama merupakan inti dari penelitian dan memberikan kontribusi signifikan terhadap bidang pengetahuan yang diteliti. Penting untuk dicatat bahwa temuan utama dalam penelitian dapat berbeda tergantung pada variabel yang diteliti, metode penelitian yang digunakan, dan populasi yang diteliti. Temuan utama ini memberikan wawasan dan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana kenyamanan dan lingkungan termal dapat memengaruhi kehidupan sehari-hari manusia dan dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan kebijakan atau praktik desain yang lebih baik.

Dalam setiap penelitian, temuan utama mencerminkan hasil penelitian yang signifikan dan penting. Penjelasan tentang temuan utama harus didasarkan pada data yang diperoleh selama penelitian, disajikan secara objektif, dan diinterpretasikan dengan cermat untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang topik yang diteliti. Penjelasan tentang temuan utama penelitian akan bergantung pada topik penelitian yang dimaksud. Berikut adalah penjelasan tentang temuan utama topik penelitian yang telah di buat dan di rangkum menjadi benang merah antar temuan penelitian merujuk pada temuan-temuan yang ditemukan dalam topik-topik penelitian yang di buat.

7.2. Temuan Utama Topik Penelitian 1

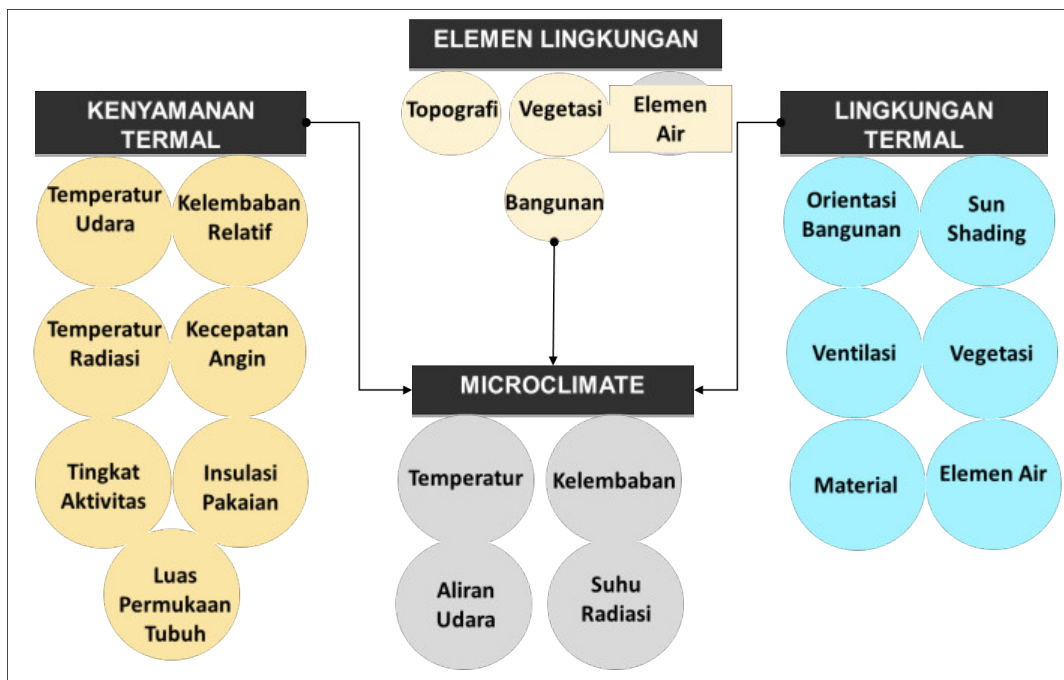
7.2.1. Kenyamanan dan Lingkungan Termal

Kenyamanan termal merujuk pada tingkat kenyamanan subjektif seseorang terhadap lingkungan kondisi termal di sekitarnya, termasuk suhu udara, kelembaban, radiasi matahari, suhu udara, dan suhu permukaan. Definisi dan teori terbaru tentang kenyamanan termal telah berkembang seiring dengan penelitian dan pemahaman yang lebih baik tentang persepsi manusia terhadap kondisi termal.



Lingkungan termal dalam bangunan merujuk pada kondisi suhu, kelembaban, dan kenyamanan termal yang ada di dalam ruangan. Di iklim tropis panas dan lembab, menciptakan lingkungan termal yang nyaman menjadi penting karena suhu yang tinggi dan tingkat kelembaban yang tinggi dapat membuat penghuni merasa tidak nyaman.

Elemen lingkungan mencakup faktor-faktor seperti suhu udara, kelembaban, pergerakan udara, pencahayaan, akustik, kualitas udara, dan pengaturan spasial. Semua elemen ini berkontribusi terhadap kondisi lingkungan di sekitar individu.



Gambar 72. Model hubungan antara elemen lingkungan, kenyamanan dan lingkungan termal

Hubungan antara elemen lingkungan, kenyamanan, dan lingkungan termal adalah sebagai berikut:

- Elemen lingkungan mempengaruhi kondisi lingkungan termal di sekitar individu. Faktor-faktor seperti suhu udara, kelembaban, dan aliran udara akan memengaruhi kenyamanan termal individu.
- Kenyamanan termal merupakan salah satu aspek kenyamanan yang sangat penting. Keseimbangan suhu, kelembaban, dan aliran udara yang sesuai akan meningkatkan kenyamanan individu dalam lingkungan.

dan lingkungan lainnya juga dapat berkontribusi pada kenyamanan secara signifikan. Misalnya, pencahayaan yang baik, akustik yang nyaman, atau



kualitas udara yang sehat juga dapat memengaruhi kenyamanan individu dalam lingkungan.

- Pengaturan elemen lingkungan yang tepat dapat membantu menciptakan kondisi lingkungan termal yang optimal. Misalnya, penggunaan ventilasi yang baik untuk memastikan pergerakan udara yang cukup, pengaturan pencahayaan alami yang tepat, atau penggunaan bahan bangunan yang memiliki sifat termal yang baik.

7.2.2. Tindak Lanjut dari Temuan Topik Penelitian 1

Berikut adalah beberapa aspek yang menjadi temuan utama terkait dengan review literatur yang perlu dipertimbangkan untuk menciptakan lingkungan termal yang nyaman dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab yaitu:

- a. Ventilasi yang baik sangat penting untuk mengatur aliran udara dan mengurangi kelembaban di dalam ruangan. Sirkulasi udara yang baik dapat membantu menghilangkan panas berlebih dan membawa udara segar ke dalam ruangan. Ventilasi alami seperti jendela yang dapat dibuka, ventilasi silang, atau atap ventilasi adalah strategi yang efektif.
- b. Memaksimalkan penggunaan pencahayaan alami dapat membantu mengurangi beban panas di dalam ruangan. Desain dengan jendela yang besar dan dinding transparan yang memungkinkan cahaya matahari masuk dapat mengurangi kebutuhan pencahayaan buatan yang menghasilkan panas.
- c. Pemilihan bahan bangunan yang tepat dapat membantu mengurangi efek panas dan kelembaban di dalam ruangan. Bahan dengan sifat isolasi termal yang baik dan kemampuan mengurangi suhu internal seperti isolasi atap, dinding dengan lapisan isolasi, dan bahan penyerap panas yang rendah dapat digunakan.

Terkait dengan bahan bangunan dalam mengurangi kelembaban yaitu mengurangi material basah dalam rakitan bangunan selama konstruksi dengan material yang rentan terhadap masalah kelembaban dan menumbuhkan jamur, mengalami delaminasi atau tidak diawetkan dengan baik. Kelembaban relatif dalam ruangan dapat bergantung pada sirkulasi udara di dalam ruangan.

ur berlapis kain, rak buku yang dekat dengan dinding luar, dan karpet meningkatkan kelembaban relatif di dalam ruangan secara lokal dan bahkan tumbuhnya jamur. Kelembaban relatif di karpet mungkin 10%



lebih tinggi dibandingkan udara ruangan; permukaan tekstil dan karpet merupakan reservoir yang baik untuk kontaminasi mikrobiologis dan sangat sulit dibersihkan bila terkontaminasi. Karpet tebal dari dinding ke dinding merupakan faktor risiko di iklim lembab.

- d. Melindungi bangunan dari sinar matahari langsung dapat membantu mengurangi panas yang masuk ke dalam ruangan. Penggunaan jendela berinsulasi, penutup jendela seperti tirai atau penutup khusus untuk mengurangi radiasi panas dapat membantu menciptakan lingkungan yang lebih nyaman.
- e. Penggunaan sistem pendingin yang efisien seperti AC yang memiliki kemampuan mengontrol suhu dan kelembaban secara tepat dapat memberikan kenyamanan termal yang optimal di dalam ruangan.
- f. Desain vegetasi di sekitar bangunan juga dapat berpengaruh pada lingkungan termal di dalam ruangan. Pohon-pohon atau vegetasi yang ditempatkan dengan baik dapat memberikan pencahayaan dan perlindungan bayangan, serta membantu menurunkan suhu lingkungan.
- g. Penggunaan elemen air, seperti kolam atau air terjun, dalam desain bangunan dapat memberikan efek pendinginan dan meningkatkan kenyamanan termal di iklim tropis panas dan lembab. Air memiliki kapasitas tinggi untuk menyerap dan memancarkan panas, sehingga dapat membantu menurunkan suhu udara di sekitarnya.

Beberapa aspek tersebut diatas maka celah penelitian (*research gap*) yang dapat dieksplorasi berdasarkan pada literatur review adalah sebagai berikut:

- a. Efektivitas strategi ventilasi, meskipun ventilasi alami seperti jendela terbuka dan ventilasi silang sering digunakan dalam bangunan di iklim tropis, masih ada kebutuhan untuk penelitian yang lebih mendalam mengenai efektivitas strategi ventilasi tersebut dalam mengurangi kelembaban dan menciptakan kenyamanan termal yang optimal. Penggunaan teknik ventilasi mekanis atau hibrida yang dikombinasikan dengan ventilasi alami juga bisa menjadi bidang penelitian yang menarik.

uh desain arsitektur terhadap kenyamanan termal: Studi lebih lanjut dilakukan untuk menganalisis pengaruh aspek desain arsitektur, seperti bangunan, orientasi, ukuran jendela, dan penempatan elemen arsitektur



lainnya terhadap kenyamanan termal di iklim tropis panas dan lembab. Penelitian semacam ini dapat membantu mengidentifikasi desain yang paling efektif dalam mengurangi suhu dan kelembaban di dalam ruangan.

- c. Penggunaan bahan bangunan inovatif: Penelitian dapat difokuskan pada pengembangan bahan bangunan inovatif yang mampu mengurangi efek panas dan kelembaban di dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab. Contohnya, penggunaan bahan dengan kemampuan penyerapan panas yang rendah atau lapisan isolasi yang lebih efektif dapat menjadi area penelitian yang menjanjikan.
- d. Evaluasi efisiensi sistem pendingin: Sistem pendingin, seperti AC, sering digunakan untuk menciptakan kenyamanan termal dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab. Namun, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi efisiensi dan dampak lingkungan dari sistem-sistem ini, serta alternatif-alternatif yang lebih ramah lingkungan seperti sistem pendingin evaporatif atau energi terbarukan.
- e. Pengaruh desain lansekap terhadap kenyamanan termal dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab masih perlu diteliti lebih lanjut. Studi lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan vegetasi, bayangan, dan elemen-elemen lansekap lainnya dalam menciptakan lingkungan termal yang optimal di sekitar bangunan.
- f. Lingkungan termal berkelanjutan: konsep pengembangan lingkungan termal yang berkelanjutan, yang mencakup penggunaan energi yang efisien, penggunaan bahan bangunan yang tepat, dan desain bangunan yang mampu mengurangi pengaruh eksternal terhadap kondisi termal.
- g. Pemodelan dan simulasi lingkungan termal: Penggunaan teknik pemodelan dan simulasi komputer telah berkembang pesat dalam memahami dan merancang lingkungan termal. Dengan menggunakan perangkat lunak dan algoritma canggih, kita dapat memprediksi kondisi termal di ruang tertentu dan mengoptimalkan desain bangunan untuk mencapai kenyamanan termal yang



- l. Kualitas lingkungan dalam ruangan telah menjadi parameter penting untuk dipertimbangkan dalam bangunan yang baru dan yang sudah ada bangunan karena

meningkatkan 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 (Khovalyg, D. dkk., 2020; Lan, L., dkk., 2017).

Berdasarkan hal tersebut tingkat kenyamanan termal dapat di analisis berdasarkan pada faktor-faktor penyebab dan konsep pendekatan yang di lakukan seperti tersaji pada tabel 27 berikut ini.

Tabel 27. Konsep dan pendekatan kenyamanan dan lingkungan termal

No	Variabel	Sub Variabel	Konsep/Solusi
1	Suhu Radiasi	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	Suhu dan temperatur tinggi	Mengatur Pencahayaan Ruang Menambah Ruang Terbuka Hijau Hindari jenis lampu cepat panas (pijar) Modifier Climate modifier
		Elemen air dan Vegetasi	
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
4	Kecepatan Angin	Kerapatan udara	Kelembababn yang rendah
		Kinerja Ventilasi yang kurang	Perletakan dan orientasi bukaan inlet dan lebar bukaan.
		Tidak terjadi Cross Ventilation	posisi inlet dan outlet pada elevasi yang berbeda
		Tapak bangunan	Orientasi arah angin
		Ruang Gerak	Standard Gerak
Aktivitas Metabolic Rate		Perabot	Penataan perabot yang lebih efisien
		Penataan Ruang	Pola ruang yang dinamis
Pemis Pakaian		Tebal	Bahan yang lembut



	<i>Clothing (clo)</i>	Bahan Pakaian	tipis
		Model	Sporty dan elegan
7	Luas dan Ukuran Tubuh Manusia	Tinggi Badan	Karakteristik antropometri Penentuan beban pendinginan
		Berat badan	Penentuan Ergonomic Ruang

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), antropometri dan ergonomis ruang.

7.3. Temuan Utama Topik Penelitian 2

7.3.1. Analisis lingkungan termal di iklim mikro

Dalam konteks iklim mikro dalam bangunan, analisis lingkungan termal melibatkan pemahaman tentang bagaimana kondisi termal di dalam bangunan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti iklim eksternal, desain bangunan, sistem pendingin atau pemanas, serta elemen air dan lansekap. Pada analisis ini, kenyamanan termal menjadi fokus utama untuk memastikan bahwa penghuni bangunan merasa nyaman secara termal.

Iklim mikro, atau yang disebut sebagai *microclimate*, merupakan suatu kondisi iklim pada ruang yang sangat terbatas, yang diukur dalam ambang batas kurang lebih setinggi 2 meter dari permukaan tanah. Iklim mikro merupakan bentukan ruang iklim yang terdapat pada lingkungan dengan skala terbatas yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti lingkungan alam maupun buatan, seperti peletakan vegetasi, penggunaan paving, elemen alamiah seperti air, tanah. Pengaruh yang dibentuk dari faktor-faktor tersebut mengarah pada suhu udara, permukaan tanah, kecepatan arah angin, intensitas sinar matahari yang oleh permukaan bangunan, dan kelembaban udara. (Soegijanto. 2019).



Pengkondisian lingkungan dengan model modifikasi udara luar yang panas masuk kedalam bangunan melibatkan upaya untuk mengendalikan kondisi termal di dalam bangunan dengan menggunakan teknik atau sistem yang mengurangi dampak udara luar yang panas

Keberadaan elemen arsitektural berupa air dan elemen lansekap dalam lingkungan mikro bangunan dapat memiliki dampak signifikan terhadap kondisi termal dan kenyamanan di sekitar bangunan. Beberapa manfaat dan efek dari elemen-elemen ini yaitu: a). Pendinginan alami: Elemen air seperti kolam, air mancur, atau air terjun dapat menghasilkan efek pendinginan alami. Penguapan air dari permukaan air dapat menurunkan suhu udara sekitarnya. Ketika udara lewat di atas permukaan air, proses penguapan mengurangi suhu udara melalui transfer panas. Hal ini dapat memberikan pengaruh menyegarkan dan mendinginkan lingkungan mikro di sekitar bangunan. b) Kebutuhan pendinginan yang berkurang: Dengan adanya elemen air yang tepat di dalam lingkungan mikro, dapat membantu mengurangi beban pendinginan buatan. Dengan mengurangi suhu di sekitar bangunan, elemen air dapat mengurangi kebutuhan penggunaan pendingin udara atau sistem HVAC, yang pada gilirannya mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional. c) Peningkatan kelembaban udara: Elemen air juga dapat meningkatkan kelembaban udara di sekitar bangunan. Dalam iklim yang kering, penambahan kelembaban dapat membantu menciptakan kondisi termal yang lebih nyaman dan mengurangi efek kekeringan pada manusia dan lingkungan. d) Estetika dan relaksasi: keberadaan elemen air dan elemen lansekap dapat memberikan keindahan visual dan suasana yang menenangkan. Pemandangan air dan elemen alam yang hijau dapat menciptakan lingkungan yang menenangkan dan meningkatkan kualitas lingkungan. Hal ini dapat memberikan manfaat psikologis dan mengurangi tingkat stres.

Namun, penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor seperti ukuran lahan, keberlanjutan sumber daya air, dan pemeliharaan yang tepat dalam merencanakan dan mengintegrasikan elemen air dan elemen lansekap dalam lingkungan mikro

Keberadaan elemen ini harus dirancang dengan mempertimbangkan iklim, tata letak bangunan, dan dampak keseluruhan terhadap lingkungan



Penggunaan elemen air dan elemen vegetasi dalam desain lingkungan mikro dapat meningkatkan kenyamanan termal, mengurangi konsumsi energi, meningkatkan estetika, dan memberikan manfaat bagi penghuni bangunan serta lingkungan sekitarnya. Dengan keberadaan elemen arsitektural berupa air dan elemen lansekap seperti pohon dan vegetasi dapat di gunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari. Keberadaan lansekap secara langsung maupun tidak langsung akan menurunkan suhu udara di sekitar bangunan, karena radiasi matahari akan di serap untuk proses fotosintesis dan penguapan serta efek bayangan yang di timbulkan oleh lansekap akan menghalangi pemanasan permukaan bangunan dan tanah di bawahnya.

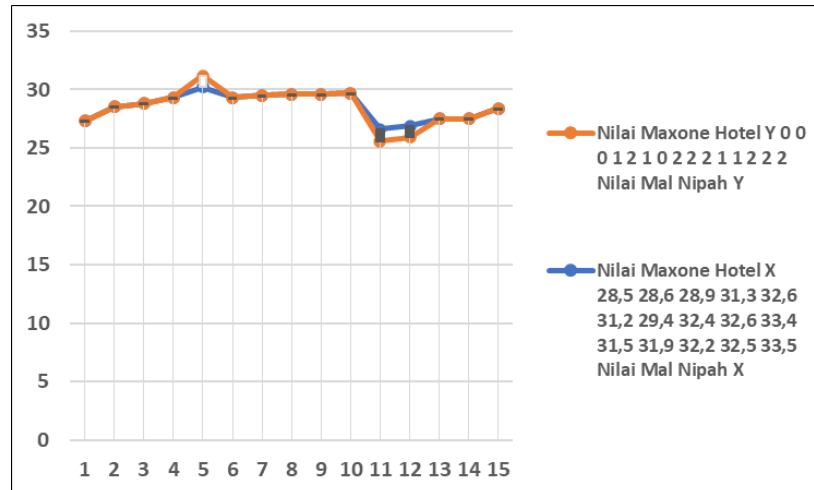
Hasil analisis lingkungan termal pada penelitian ini menunjukkan bahwa pada jarak dan waktu pengukuran suhu, suhu radiasi, kelembaban, dan kecepatan angin sangat berpengaruh dalam mengendalikan iklim mikro dalam ruang. Ruangan yang dekat dengan elemen air dan vegetasi akan lebih nyaman secara termal dibandingkan dengan ruangan yang jauh dari air dan lansekap. Kenaikan suhu maksimal hanya terjadi pada jam 13.00 – 15.00, sementara suhu rata-rata 28.58°C. Untuk dua lantai pengukuran (LG dan lantai 5) suhu rata-rata 30.4°C, kelembaban rata-rata 58.33%, dan kecepatan angin rata-rata 2.12 m/s sehingga nilai keterterimaan termal PMV, PPD, dan SET berdasarkan *thermal comfort tools* (CBE) ASHRAE Standard 55 – 2020 pada lantai LG terdapat kondisi yang dapat diterima sebagai kondisi yang nyaman yakni nilai PMV berkisar antara -0,5 sampai dengan +0,5, sedangkan pada lantai 5 nilai PMV 1.45, nilai PPD 48%, dan nilai SET 30.5°C dan menurun pada posisi netral pada jam 15.00-17.00 dengan nilai SET 26.0°C, ini berarti standard ASHRAE 55 pada jam 09.00 – 15.00 tidak di terima dan pengunjung merasa tidak nyaman (+1 - +1.5).

Dalam persamaan regresi linear (gambar 74) terhadap responden memperlihatkan bahwa suhu nyaman/netral = 0, di mana responden merasa nyaman di capai pada angka 28.6°C suhu/temperature udara (Ta) dengan rentang suhu nyaman responden antara -1 dan 0, sehingga batas di mana responden merasa

nyaman (batas bawah) pada angka 26.4°C suhu udara dan batas atas pada 28°C suhu udara. Persamaan regresi linear dengan nilai $y=0.4115x-11.848$ dan koefisien $R^2= 0.9111$ menjelaskan bahwa suhu udara dengan rentang suhu



nyaman adalah 0.954, dimana angka ini masuk dalam kategori sangat kuat hubungan korelasinya, sedangkan nilai koefisien determinasi 0.907 atau 90.79% yang berarti bahwa suhu udara (X) dapat menerima rentang suhu nyaman seseorang (Y) sebesar 90.79%.



Gambar 73. Hasil regresi linear kenyamanan termal berdasarkan TSV

Dalam topik penelitian ini temuan penelitian adalah berdasarkan hal tersebut analisis lingkungan termal dalam konteks iklim mikro dalam bangunan, kenyamanan termal serta elemen air dan lansekap merupakan pengkondisian lingkungan dengan model modifikasi udara luar yang panas masuk kedalam bangunan. Olehnya itu untuk menciptakan lingkungan termal dalam bangunan maka faktor modifikasi elemen arsitektural menjadi perhatian yang lebih terhadap penyelesaian masalah kestabilan iklim pada skala mikro maupun skala makro.

7.4. Temuan Utama Topik Penelitian 3

7.4.1. Lingkungan dan kenyamanan termal melalui kajian pergerakan udara

Penelitian ini menunjukkan bahwa pergerakan udara dan ventilasi berperan penting dalam menciptakan kenyamanan termal di iklim tropis panas dan lembab. Angin yang bergerak dapat membantu mengurangi suhu subjektif yang dirasakan oleh manusia, memberikan efek pendinginan dan mengurangi kelembaban.

Hubungan antara lingkungan dan kenyamanan termal dan pergerakan udara sangat erat terkait dalam menciptakan kenyamanan termal di dalam suatu

n. Berikut adalah penjelasan tentang hubungan tersebut:

nyaman termal: Lingkungan termal mencakup faktor-faktor seperti suhu dan kelembaban, dan suhu permukaan di sekitar individu. Lingkungan termal



yang baik adalah ketika faktor-faktor tersebut berada dalam kisaran yang nyaman bagi penghuni.

- b. Pergerakan udara: Pergerakan udara mengacu pada aliran udara di dalam ruangan atau di sekitar individu. Pergerakan udara yang baik dapat membantu dalam mengurangi sensasi panas dan kelembaban, serta mempercepat proses penguapan keringat, yang pada gilirannya meningkatkan kenyamanan termal.

Hubungan antara lingkungan termal dan pergerakan udara adalah sebagai berikut:

- Pergerakan udara yang baik dapat membantu dalam mengatasi kondisi termal yang tidak nyaman. Aliran udara yang cukup dapat membantu mengurangi suhu udara yang tinggi dan menjaga kelembaban di sekitar individu tetap seimbang.
- Pergerakan udara dapat membantu dalam meningkatkan efek pendinginan evaporatif. Udara yang bergerak dapat membantu meningkatkan penguapan keringat dari kulit, yang pada gilirannya memberikan sensasi pendinginan dan kenyamanan.
- Pergerakan udara juga dapat membantu dalam meratakan distribusi suhu di dalam ruangan. Udara yang bergerak dapat membawa suhu yang lebih dingin dari area yang sejuk ke area yang lebih hangat, menciptakan kondisi termal yang lebih seimbang di seluruh ruangan.
- Lingkungan termal yang baik dapat meningkatkan efektivitas pergerakan udara. Ketika suhu udara yang rendah atau kelembaban yang tinggi, pergerakan udara dapat memberikan efek pendinginan yang lebih efektif.





Gambar 74. Model hubungan pergerakan udara dan lingkungan termal

7.4.2. Hasil Temuan Penelitian 3

Pengukuran kecepatan angin di sekitar area Nipah Mall dan Maxone Hotel dengan menggunakan peralatan Air Flow Anemometer digital. Pengukuran dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 5 titik ukur yaitu sisi Utara, Selatan, Timur, Barat, dan atas (void). Pengukuran kecepatan angin di dalam bangunan diperlukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap lingkungan termal dengan obyek elemen arsitektural berupa air dan tanaman sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan.

Angin yang datang dari arah Timur maupun yang datang dari arah Barat, akan memberikan porsi yang sama untuk dapat masuk ke dalam ruang yang menghadap ke arah Utara dan Selatan. Bila posisi ruang penelitian menghadap ke arah Utara, kecepatan angin yang masuk pada pagi sampai sore hari lebih besar dibandingkan posisi ruang yang berada di Timur atau Barat bangunan. Sementara sisi yang menghadap ke arah Timur dan Barat pergerakan udara kecil karena tertutup oleh dinding ruang dan bukaan hanya akses pintu masuk.

Dengan arah orientasi bangunan menghadap Utara – Selatan maka pergerakan udara di sekitar bangunan dan di dalam bangunan Nipah Mall maupun Maxone Hotel pada pagi hari hingga siang hari bergerak dari arah Timur ke Barat dan arah Selatan ke arah Utara bangunan. Sementara pada siang hari



hingga sore, angin bergerak dari Arah Barat ke Arah Timur bangunan serta dari arah Utara ke Arah Selatan bangunan.

Hasil simulasi pergerakan udara pada Mal Nipah terbesar berada pada bukaan void sebesar 2,98 m/s kemudian bukaan pada sisi Utara sebesar 1.14 m/s. Terlihat bahwa area yang lebih sejuk berada pada bagian tengah area kolam dan air terjun sementara pada Maxone hotel pergerakan udara terbesar berada ada sisi atas (void) sebesar 2.63 m/s dan pada bukaan sisi Barat sebesar 0.98 m/s, hasil simulasi menunjukkan kolam renang pada area tersebut tidak berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengunjung.

Dalam penelitian tentang kenyamanan dan lingkungan termal melalui kajian kecepatan dan aliran udara, terdapat beberapa temuan utama yang telah diidentifikasi. Berikut ini adalah beberapa temuan utama yang relevan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Dalam Penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan udara yang tepat dapat memberikan efek pendinginan pada manusia dan meningkatkan kenyamanan termal. Kecepatan udara antara 0,2 hingga 0,6 m/s, dapat membantu meningkatkan perpindahan panas dari permukaan tubuh manusia dan mempercepat proses penguapan keringat, sehingga menciptakan sensasi dingin.
- b. Penelitian juga menunjukkan bahwa distribusi aliran udara yang merata di sekitar ruangan sangat penting untuk mencapai kenyamanan termal yang optimal. Aliran udara yang merata dapat membantu mengurangi perbedaan suhu yang signifikan antara berbagai bagian ruangan, sehingga menciptakan kondisi termal yang seragam dan menghindari zona panas atau dingin yang tidak nyaman.
- c. Penelitian telah mengidentifikasi bahwa pengaturan fleksibel terhadap arah, kecepatan, dan distribusi aliran udara dapat membantu mengoptimalkan kenyamanan termal. Sistem ventilasi yang dapat diatur atau disesuaikan secara individual memungkinkan penghuni untuk mengatur aliran udara sesuai dengan preferensi pribadi mereka, sehingga menciptakan kenyamanan yang lebih tinggi.



- d. Pengaruh lokal pada kecepatan dan aliran udara: Temuan penelitian juga menyoroti bahwa keadaan lokal di sekitar individu, seperti posisi tubuh, posisi tempat duduk, atau rambut yang panjang, dapat mempengaruhi kecepatan dan arah aliran udara yang mereka rasakan. Faktor-faktor ini perlu dipertimbangkan dalam desain ruangan atau pengaturan peralatan udara agar mencapai distribusi udara yang merata.
- e. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan alat bantu sirkulasi udara, seperti kipas angin atau alat penghembus udara, dapat meningkatkan kenyamanan termal. Alat-alat ini dapat membantu meningkatkan aliran udara di sekitar individu dan menciptakan efek angin yang memberikan sensasi dingin.

Pemahaman dan penerapan temuan-temuan ini dalam desain bangunan, sistem ventilasi, dan pengaturan ruangan dapat membantu menciptakan kondisi termal yang optimal dan meningkatkan kenyamanan penghuni. Hal penting juga bahwa preferensi dan toleransi individu terhadap kecepatan dan aliran udara dapat bervariasi, sehingga penting untuk mempertimbangkan variasi ini dalam mencapai kenyamanan termal yang sesuai dengan kebutuhan individu.

7.5. Temuan Utama Topik Penelitian 4

7.5.1. Pemodelan lingkungan dan kenyamanan termal pada bangunan di iklim tropis panas dan lembab

Pemodelan adalah proses pembuatan dan penggunaan model untuk memahami, menjelaskan, dan meramalkan perilaku suatu objek, sistem, atau konsep dalam konteks tertentu. Pemodelan melibatkan pengidentifikasian elemen-elemen penting dari suatu situasi, pembuatan model yang merepresentasikan hubungan antara elemen-elemen tersebut, serta penggunaan model tersebut untuk mengambil keputusan atau mendapatkan wawasan.

Simulasi komputer dan permodelan persamaan matematis sering digunakan dalam analisis lingkungan termal untuk memprediksi dan memvisualisasikan kondisi termal dalam berbagai skenario. Ini memungkinkan pengambilan

yang lebih baik dan pemahaman yang lebih mendalam tentang pengaruh faktor termal berdasarkan pada



Adapun hasil pemodelan secara matematis lingkungan termal sesuai dengan topik kajian mengembangkan model lingkungan termal dengan mempertimbangkan fitur air bergerak, kolam dengan berbagai karakteristik, dan jenis vegetasi untuk lingkungan dan kenyamanan termal berdasarkan standar ASHRAE 55-2020 yakni mengevaluasi dampak iklim mikro di lingkungan bangunan. Panduan untuk pengembangan model tersebut sbb:

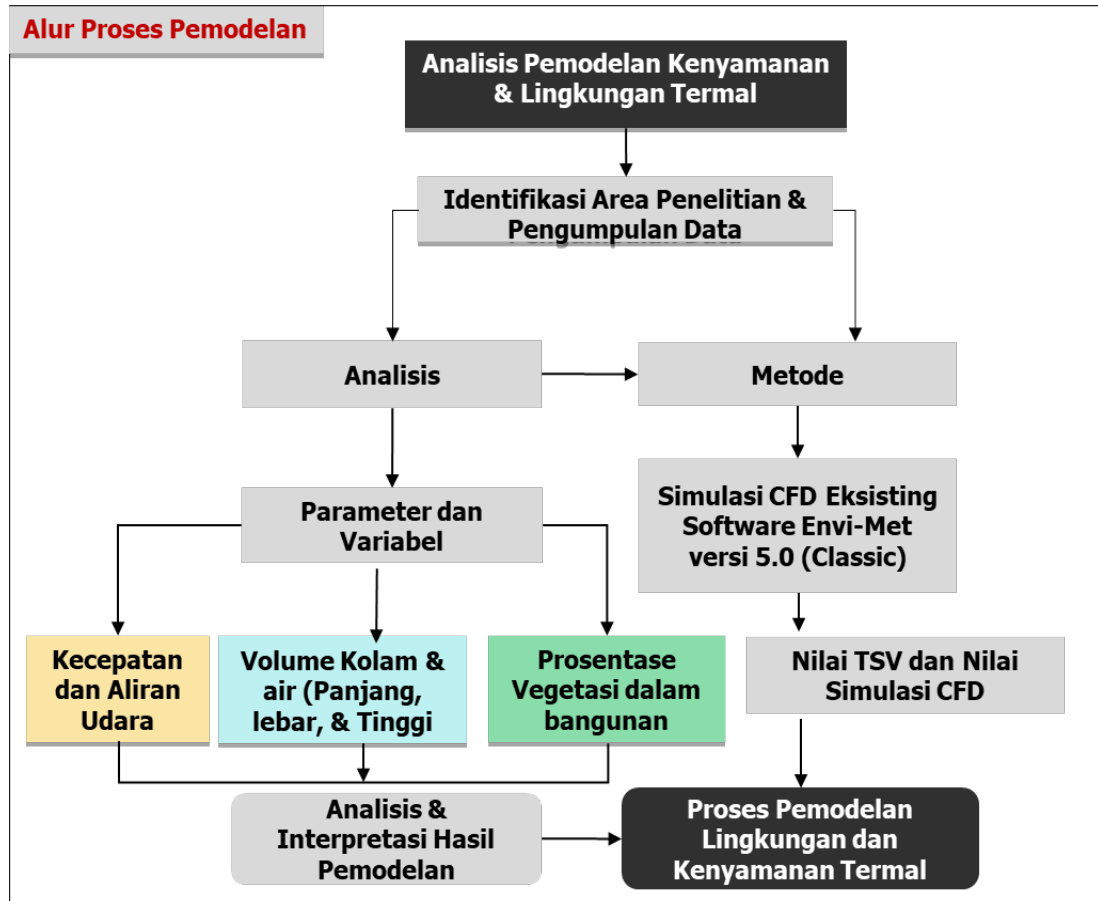
1. Pemahaman standar ASHRAE 55-2020
2. Untuk mendukung pemodelan perhitungan berdasarkan standar ASHRAE 55-2020 digunakan simulasi CFD Envi-Met 5.0.
3. Model fitur air bergerak dengan mempertimbangkan dampak aliran air terhadap pergerakan udara dan suhu di sekitarnya.
4. Model kolam eksisting dengan volume, bentuk, dan tinggi air.
5. Integrasi vegetasi sesuai ASHRAE 55-2020 yaitu jenis tanaman yang sesuai dengan iklim tropis dan standar ASHRAE 55-2020.
6. Simulasi termal eksisting berdasarkan ASHRAE 55-2020. analisis model simulasi untuk memahami apakah kondisi lingkungan termal memenuhi kriteria kenyamanan yang ditetapkan oleh standar.
7. Pemodelan hasil simulasi dengan standar ASHRAE 55-2020 dan data lapangan.
8. Interpretasi hasil dan rekomendasi model hasil simulasi, interpretasi fitur air bergerak, kolam, dan vegetasi terhadap kenyamanan termal.

Data hasil analisis pengukuran obyektif selanjutnya di simulasikan dengan CFD menggunakan Software Envi-Met versi 5.0 classic untuk melihat penggambaran simulasi sebelum dan sesudah pemodelan terhadap besaran suhu/temperatur, kelembaban relatif, dan kecepatan aliran udara pada kedua subyek penelitian. Mekanisme simulasi CFD dengan software Envi-Met melalui tahap sebagai berikut data hasil pengukuran obyektif dan penggambaran model 3D obyek penelitian melalui melalui software AutoCad kemudian model 3 dimensi tersebut di import dengan software Ansys versi 15.0 selanjutnya di lakukan proses

dan proses bidang batas (*boundary*) berdasarkan pada parameter inlet, *boundary* (wall), kecepatan udara, temperatur, dan kelembaban. Selanjutnya tersebut dianalisis kondisi bidang batas dengan fungsi numerik



calculator, fungsi ini merupakan proses penyelesaian (*solving*) dari CFD. Selanjutnya hasil proses tersebut menghasilkan interpretasi data berupa simulasi, gambar, kontur dan grafik.



Gambar 75. Bagan model hubungan simulasi pemodelan kenyamanan dan lingkungan termal

7.5.2. Pemodelan Lingkungan termal berdasarkan kondisi eksisting

Berdasarkan pengukuran eksisting tersebut, kedua obyek penelitian dievaluasi yaitu lingkungan dan kenyamanan termal berdasar pada standard ASHRAE 55. Evaluasi ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti sensasi termal, pergerakan udara (ventilasi), dan pengaruh lingkungan termal (vegetasi dan elemen air dan kolam) dalam menciptakan kondisi termal yang nyaman. Sebelum di lakukan pemodelan maka terlebih dahulu mengukur kondisi obyek penelitian berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi. Selanjutnya di lakukan pengukuran

untuk melihat kondisi suhu, kelembaban, dan pergerakan udara. Kondisi penelitian seperti terlihat pada Tabel 28 berikut.



Tabel 28. Kondisi dan situasi eksisting obyek penelitian

Obyek Penelitian	Elemen air	Vegetasi	Bukaan/ventilasi
Mal Nipah Luas Lantai yang di kondisikan 13.392 m²	air terjun, kolam hias. Luas = 63,7 m ² Tinggi = 0,50 m Luas Kolam = 31,85 m³ Operasional air terjun 2 kali sehari Ketinggian air terjun 22 m	Luas Vegetasi dalam bangunan 840 m² Sehingga prosentase vegetasi dalam bangunan sebesar 6,41% dari luas keseluruhan lantai yang di kondisikan. Vegetasi di dalam gedung seperti tanaman palem (Chamaedore), pakis, Sansevieria, dan Sri rejeki (Chinese evergreen).	Ukuran inlet bukaan dan outlet yaitu Inlet atas (void) 135 m² , Inlet Utara 62 m² , inlet Barat 9,0 m² , Inlet Timur 10,25 m² , dan inlet Selatan 24,9 m²
Temperature		Kelembaban	Kecepatan Angin
30,2 – 33,6 °C		63 - 67,2%	0,4 – 2,2 m/s
Obyek Penelitian	Elemen air	Vegetasi	Bukaan/ventilasi
Hotel Maxone Luas Lantai yang di kondisikan 4.932 m²	Kolam renang Panjang 9,10 m, lebar 6,0 m, tinggi 1,50 m. Luas = 81,92 m² Volumenya = 81,92 m³	Luas Vegetasi dalam bangunan 209 m² . Prosentase vegetasi dalam bangunan sebesar 4,24% dari luas keseluruhan lantai yang di kondisikan. Area hijau di luar gedung, Vegetasi di dalam gedung seperti tanaman palem (Chamaedore), Sansevieria, sirih gading.	Ukuran inlet bukaan dan outlet yaitu Inlet atas (void) 76 m² , Inlet Utara 55 m² , inlet Barat 8,0 m² , Inlet Timur 4,25 m² , dan inlet Selatan 4,0 m²
Temperature		Kelembaban	Kecepatan Angin
32,0 – 33,9 °C		68 - 72,2%	0,4 – 1,8 m/s

Kondisi eksisting obyek penelitian berdasarkan variabel bukaan ventilasi memperhitungkan bukaan pada setiap sisi bangunan atau sesuai dengan orientasi bangunan kemudian diukur rata-rata kecepatan angin, suhu, dan kelembaban. Elemen air dan kolam dihitung berdasarkan pada luasan kolam yang menampung air untuk menganalisis pengaruh air pada kolam dengan memprediksi lingkungan manan termal.

area ini Mal Nipah terdapat kolam dan air terjun buatan yang terletak an tengah bangunan. Dalam Penelitian ini elemen air dalam bangunan



berupa air terjun buatan dan kolam. Tinggi air terjun buatan terdiri dari tinggi air terjun 1 ± 15 m, air terjun 2 ± 18m, dan air terjun 3 ± 22 m. Pengoperasian air terjun buatan secara otomatis setiap hari pada jam 12.00 – 14.00 dan 15.00 – 17.00.

Kondisi eksisting variabel vegetasi ditentukan berdasarkan luas bangunan/lantai yang dikondisikan dan luasan vegetasi dalam ruangan sehingga di dapatkan prosentase vegetasi dalam ruangan.

Data hasil analisis pengukuran obyektif selanjutnya di simulasikan dengan CFD menggunakan Software Envi-Met versi 5.0 classic untuk melihat penggambaran simulasi eksisting dan sesudah simulasi CFD terhadap besaran suhu/temperatur, kelembaban relatif, dan kecepatan aliran udara pada kedua subyek penelitian.

Berdasarkan hasil simulasi eksisting suhu, kelembaban dan pergerakan udara Mal Nipah memperlihatkan bahwa suhu rata-rata mencapai 32.2°C dan kelembaban 67,10% dan pergerakan udara rata-rata berkisar antara 0.5 – 1.0 m/s.

Sementara hasil simulasi eksisting suhu, kelembaban, dan pergerakan udara Hotel Maxone memperlihatkan bahwa suhu rata-rata mencapai 33.3°C, kelembaban 72%, dan pergerakan udara rata-rata berkisar antara 0,4 – 0.8 m/s.

Berdasarkan hasil simulasi eksisting pada kedua obyek penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa pengaruh kolam air, vegetasi, dan bukaan ventilasi pada area tersebut tidak berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengunjung, karena belum memenuhi standard kenyamanan termal berdasarkan ASHRAE 55 2020. Hasil pengukuran simulasi eksisting seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 29. Hasil pengukuran eksisting Mal Nipah dan Maxone hotel

Lingkungan termal	Mal Nipah	Maxone Hotel
	Eksisting	
	Pengukuran	
Suhu	32,2°C	33,3°C
Kelembaban relatif	67,10%	72%
Kecepatan angin	0,5 – 1,0 m/s	0,2 - 0,8 m/s

an utama dalam topik penelitian 4 ini bahwa data simulasi eksisting suhu, kelembaban, dan kecepatan angin pada pada kedua bangunan dimana orientasi bukaan inlet tidak hanya mempengaruhi kecepatan



udara, tetapi juga pola aliran udara dalam ruangan, sedangkan lokasi outlet hanya memiliki pengaruh kecil dalam kecepatan dan pola aliran udara. Pada Mal Nipah perletakan bukaan udara besar berada di sisi atas yang merupakan inlet sekaligus outlet akan menciptakan pola aliran udara yang bergerak dari inlet ke outlet. Orientasi inlet sisi Utara merupakan potensi arah datang angin akan mempengaruhi kecepatan udara untuk mencapai kenyamanan termal di dalam bangunan. Pada Maxone hotel inlet sisi atas merupakan bukaan yang memberikan pola aliran udara yang masuk kedalam ruangan sekaligus juga merupakan outlet aliran udara, karena pada sisi Selatan tidak terdapat bukaan sehingga aliran udara mengalami friksi termasuk pada inlet sisi Timur dan Barat di mana bukaan tidak terlalu besar. Pengaruh kolam air dan juga prosentase vegetasi dalam ruangan tidak berpengaruh terhadap lingkungan termal. Hal ini lah yang mempengaruhi kenyamanan termal sehingga suhu dan kelembaban agak tinggi.

Sensasi dan kenyamanan termal yang diprediksi menggunakan Model PMV, PPD dan TSV dengan memasukan faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal yaitu : faktor lingkungan (Suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, suhu radiasi) dan faktor manusia (jenis pakaian dan aktivitas). Analisis Kenyamanan termal berdasarkan pada indeks PMV, PPD, dan SET di olah dan di simulasikan menggunakan *software Center for Built Environment (CBE) Thermal Comfort Tools*. (<https://comfort.cbe.berkeley.edu/en-16798>) dapat di lihat pada tabel berikut ini.

Tabel 30. Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE

	PMV	PPD (%)	SET (°C)	Cooling Effect (°C)	Sensasi
Mal Nipah	0.28	7%	26.5	5.7	Netral
Maxone Hotel	0.76	17%	28.3	5.0	Sedikit Panas

Tabel 30 memperlihatkan bahwa nilai PMV, PPD, dan SET pada kedua obyek penelitian terdapat perbedaan dalam hal sensasi termal, pada Mal Nipah sensasi lingkungan termal berada pada posisi netral dengan nilai SET 26.5°C sedangkan di Maxone nilai SET 28.3°C atau sedikit panas.



7.5.3. Pemodelan lingkungan dan kenyamanan termal

Integrasi model lingkungan termal dengan elemen air dan vegetasi untuk memprediksi dan menganalisis pengaruhnya terhadap iklim mikro pada bangunan dievaluasi dan dibandingkan berdasarkan hasil simulasi eksisting dan hasil variasi pemodelan. Hal ini melibatkan penilaian dan membandingkan dampak penggunaan elemen-elemen ini terhadap kondisi termal di lingkungan yang dianalisis.

Pemodelan tersebut mempertimbangkan faktor-faktor seperti sensasi termal, pergerakan udara (ventilasi), dan pengaruh lingkungan termal (penataan vegetasi dan peningkatan fitur air) dalam menciptakan kondisi termal yang nyaman dan hemat energi. Berdasarkan hal tersebut dilakukan pemodelan yaitu variasi ventilasi, penataan vegetasi berdasarkan jenis tanaman dan tajuk, peningkatan fitur air bergerak, dan dimensi kolam air. Adapun variabel dan indikator tersebut terlihat pada tabel berikut.

Tabel 31. Variabel dan indikator pemodelan lingkungan termal

No	Variabel	Indikator Sub Variabel	Instrumen Alat Analisis	Instrumen pemodelan
1	Pergerakan udara	Bukaan inlet dan outlet sisi Timur, Barat, Utara, Selatan, dan atas (void) Luas Bukaan dalam m ²	Range meter (m ²)	Volume air dan pergerakan udara
2	Elemen air dan Kolam	Luasan	Range meter (m ²)	Variasi luasan kolam yang di modifikasi berdasarkan koefisien
		Volume	Debit air	Variasi Volume (m ³) kolam
		Waktu	Operasional	Jam operasional
3	Vegetasi	Luasan dan prosentase	Prosentase	Prosentase luas vegetasi yang di kondisikan berdasarkan koefisien
		Jenis vegetasi	Prosentase	

Berdasarkan indikator penilaian tersebut diatas maka dilakukan analisis pemodelan berdasarkan variabel-variabel yang telah ditentukan sebagai berikut ditunjukkan pada tabel berikut.:

Tabel 32. Indikator model lingkungan termal objek penelitian

		Variasi dan pemodelan	
		Mal Nipah	Maxone Hotel
Pergerakan udara	arah Barat, Timur, Utara, dan Selatan sebesar 0,20 m ²		Penambahan ukuran ventilasi pada sisi arah selatan, timur, dan



		barat sebesar 0,20 m ²
Elemen air dan kolam	Modifikasi/penambahan dimensi luasan kolam sebesar 0,10 m ³ Manajemen operasional air terjun menjadi 3 kali sehari pada pukul 12:00-13:00, 14:00-15.00 dan 15:30-17:00.	Modifikasi dimensi luasan kolam renang sebesar 0,10 m ³ Pembuatan air mancur di sekitar kolam dan fitur air kolam bergerak.
Vegetasi dan lanskap	Meningkatkan proporsi vegetasi sebesar 1% dari luasan vegetasi eksisting. Penataan vegetasi dan kerapatan seperti Arecaceae, Polypodiophyta, Sansevieria, dan Aglonema pada sisi barat bangunan.	Meningkatkan proporsi vegetasi sebesar 1% dari luasan vegetasi eksisting. Penataan vegetasi tajuk dan kerapatan tajuk seperti Arecaceae, Polypodiophyta, Sansevieria, dan aglonema di sisi Utara.

Simulasi komputer dan permodelan matematis sering digunakan dalam analisis lingkungan termal untuk memprediksi dan memvisualisasikan kondisi termal dalam berbagai skenario. Ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dan pemahaman yang lebih mendalam tentang pengaruh berbagai faktor termal. Adapun hal yang penting dianalisis adalah variabel dan parameter yang akan dimasukkan ke dalam model simulasi seperti suhu udara, kelembaban relatif, aliran udara (ventilasi), karakteristik vegetasi, dan elemen air seperti kolam atau air mancur. Tujuan dari pemodelan variasi alternatif ini merupakan penyesuaian pada desain bangunan, seperti peningkatan vegetasi atau penempatan elemen air yang lebih efektif, peningkatan variasi bukaan sehingga dapat mencapai kondisi termal yang lebih nyaman di iklim tropis panas dan lembab.

Berdasarkan hal tersebut diatas maka pembahasan selanjutnya adalah membuat model simulasi alternatif atau variasi model berdasarkan pada indikator-indikator yang akan ditingkatkan. Model ini mengacu pada standard ASHRAE 55 2020 dan target batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7 °C (Target suhu 25°C, Humadity 70%).

A. Pemodelan berdasarkan variasi volume air dan pergerakan udara

Untuk menghitung penurunan suhu dan peningkatan kelembaban pada variasi dimensi kolam dan air dilakukan perhitungan volume (m³) kolam eksisting

membuat perbandingan besaran volume yang dihitung dengan berikut ini:



$$Koeff(\%) = \left[\left(\frac{pv1}{av2} \right) \times 100\% \right] \dots\dots\dots(2)$$

$$Suhu = koeff - vs$$

$$Humidity = koeff + vs \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

Koeff = Koefisien pembanding

av1 = Rata-rata penambahan volume kolam

av2 = Dimensi kolam

ts = temperatur dan kelembaban hasil dari simulasi (°C)

Tabel 33. Variabel penambahan volume air dan variabel kecepatan udara lingkungan Termal Mal Nipah

Batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7 °C (Target 25°C, Humadity 70 %)

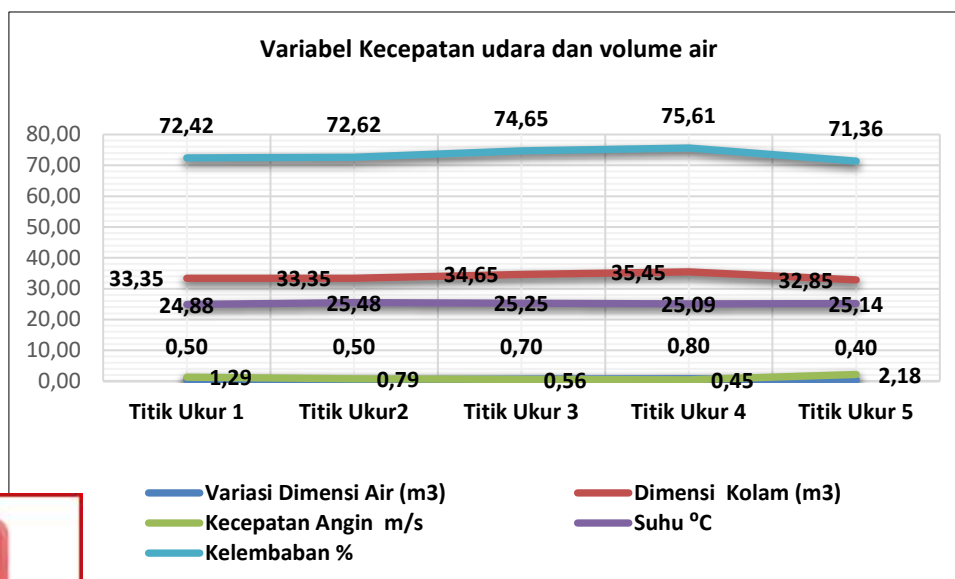
No	Kecepatan Angin Titik Ukur 1	Variasi Dimensi Volume Air	Dimensi Kolam	Suhu	Kelembaban
	m/s	(m3)	(m3)	°C	%
1	0,00	0,00	31,85	30,2	67,1
2	1,29	0,10	31,95	29,1	68,2
3	1,29	0,20	32,15	28,1	69,2
4	1,29	0,30	32,45	27,0	70,3
5	1,29	0,40	32,85	25,9	71,4
6	1,29	0,50	33,35	24,9	72,4
7	1,29	0,60	33,95	23,8	73,5
8	1,29	0,70	34,65	22,8	74,5
		Rata-Rata	Rata-Rata	Koefisien	
		0,35	32,90	1,06	
No	Kecepatan Angin Titik Ukur 2	Variasi Volume air	Dimensi kolam	suhu	dan Kelembaban
	m/s	(m ³)	(m ³)	°C	%
1	0,00	0,00	31,85	30,8	67,3
2	0,79	0,10	31,95	29,7	68,4
3	0,79	0,20	32,15	28,7	69,4
4	0,79	0,30	32,45	27,6	70,5
5	0,79	0,40	32,85	26,5	71,6
6	0,79	0,50	33,35	25,5	72,6
7	0,79	0,60	33,95	24,4	73,7
8	0,79	0,70	34,65	23,4	74,7
No	Kecepatan Angin Titik Ukur 3	Variasi Volume air	Dimensi kolam	suhu	dan Kelembaban
	m/s	(m ³)	(m ³)	°C	%
1	0,00	0,00	31,85	32,7	67,2
2	0,56	0,10	31,95	31,6	68,3
	0,56	0,20	32,15	30,6	69,3
	0,56	0,30	32,45	29,5	70,4
	0,56	0,40	32,85	28,4	71,5
	0,56	0,50	33,35	27,4	72,5
	0,56	0,60	33,95	26,3	73,6



8	0,56	0,70	34,65	25,3	74,6
9	0,56	0,80	35,45	24,2	75,7
No	Kecepatan Angin Titik Ukur 4, Variasi Volume air, Dimensi kolam, suhu, dan Kelembaban				
	m/s	(m ³)	(m ³)	°C	%
1	0,00	0,00	31,85	33,6	67,1
2	0,45	0,10	31,95	32,5	68,2
3	0,45	0,20	32,15	31,5	69,2
4	0,45	0,30	32,45	30,4	70,3
5	0,45	0,40	32,85	29,3	71,4
6	0,45	0,50	33,35	28,3	72,4
7	0,45	0,60	33,95	27,2	73,5
8	0,45	0,70	34,65	26,2	74,5
9	0,45	0,80	35,45	25,1	75,6
10	0,45	0,90	36,35	24,0	76,7
No	Kecepatan Angin Titik Ukur 5, Variasi Volume air, Dimensi kolam, suhu, dan Kelembaban				
	m/s	(m ³)	(m ³)	°C	%
1	0,00	0,00	31,85	29,4	67,1
2	2,18	0,10	31,95	28,3	68,2
3	2,18	0,20	32,15	27,3	69,2
4	2,18	0,30	32,45	26,2	70,3
5	2,18	0,40	32,85	25,1	71,4
6	2,18	0,50	33,35	24,1	72,4
7	2,18	0,60	33,95	23,0	73,5
8	2,18	0,70	34,65	22,0	74,5

Rata-Rata Rata-Rata Koefisien
0,35 32,90 1,06

Titik Ukur	Variasi Dimensi	Dimensi	Kecepatan Angin	Suhu	Kelambaban
<i>meter</i>	<i>Air (m³)</i>	<i>Kolam (m³)</i>	<i>m/s</i>	<i>°C</i>	<i>%</i>
Titik Ukur 1	0,50	33,35	1,29	24,88	72,42
Titik Ukur 2	0,50	33,35	0,79	25,48	72,62
Titik Ukur 3	0,70	34,65	0,56	25,25	74,65
Titik Ukur 4	0,80	35,45	0,45	25,09	75,61
Titik Ukur 5	0,40	32,85	2,18	25,14	71,36



Gambar 76 Grafik model modifikasi dimensi air dan kolam Mal Nipah





Gambar 77. Model 3D Kolam Mal Nipah

Berdasarkan tabel dan grafik variasi modifikasi kolam dan lingkungan termal pada Mal Nipah didapatkan batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7°C dengan Target suhu 25°C dan kelembaban 70% berdasarkan standard ASHRAE 55 2020 dan PMV serta PPD maka penambahan dimensi kolam sebesar 0,70 m² dan koefisien 1,06 dengan dimensi awal sebesar 31.85 m² menjadi 34,7 m² sehingga penambahan dimensi kolam 2,80 m³ dengan angka penerimaan termal untuk suhu sebesar 24,9°C, kelembaban 75,5% dan kecepatan angin rata-rata sebesar 0,7 m/s. Hasil modifikasi kolam air Mal Nipah tersebut dengan luasan 2,80 m² dapat menurunkan suhu sebesar 7,4°C dan peningkatan kelembaban sebesar 7,4% serta kecepatan angin rata-rata 0,4 - 0,75 m/s.

Selanjutnya variasi pemodelan air kolam renang pada hotel Maxone dengan nilai koefisien 0,65%, dengan penambahan variasi volume kolam sebesar 0,10 m³ seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 34. Variabel penambahan dimensi kolam dan indikator lingkungan termal Hotel Maxone

Batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7 °C (Target 25°C, Humidity 70 %)					
No	Kecepatan Angin Titik Ukur 1	Variasi Dimensi Air	Dimensi Kolam	Suhu	Kelembaban
	m/s	m ³	m ²	°C	%
	0,70	0,10	81,90	32,30	72,00
	0,70	0,10	82,00	31,64	72,66
	0,70	0,20	82,20	30,97	73,33
	0,70	0,30	82,50	30,31	73,99
	0,70	0,40	82,90	29,65	74,65



6	0,70	0,50	83,40	28,99	75,31
7	0,70	0,60	84,00	28,32	75,98
8	0,70	0,70	84,70	27,66	76,64
8	0,70	0,80	85,40	27,00	77,30
9	0,70	0,90	86,30	26,34	77,96
10	0,70	1,00	87,30	25,67	78,63
11	0,70	1,10	88,40	25,01	79,29
Koefisien			0,66		

Kecepatan Angin Titik Ukur 2, Variasi Volume air, Dimensi kolom, suhu, dan Kelembaban

No	<i>m/s</i>	<i>m³</i>	<i>m²</i>	<i>°C</i>	%
1	0,19	0,10	81,90	33,90	72,00
2	0,19	0,10	82,00	33,24	67,76
3	0,19	0,20	82,20	32,57	68,43
4	0,19	0,30	82,50	31,91	69,09
5	0,19	0,40	82,90	31,25	69,75
6	0,19	0,50	83,40	30,59	70,41
7	0,19	0,60	84,00	29,92	71,08
8	0,19	0,70	84,70	29,26	71,74
8	0,19	0,80	85,40	28,60	72,40
9	0,19	0,90	86,30	27,94	73,06
10	0,19	1,00	87,30	27,27	73,73
11	0,19	1,10	88,40	26,61	74,39
12	0,19	1,20	89,60	25,95	75,05
13	0,19	1,30	90,80	25,28	75,72

Kecepatan Angin Titik Ukur 3, Variasi Volume air, Dimensi kolom, suhu, dan Kelembaban

No	<i>m/s</i>	<i>m³</i>	<i>m²</i>	<i>°C</i>	%
1	0,38	0,10	81,90	33,30	72,00
2	0,38	0,10	82,00	32,64	72,66
3	0,38	0,20	82,20	31,97	73,33
4	0,38	0,30	82,50	31,31	73,99
5	0,38	0,40	82,90	30,65	74,65
6	0,38	0,50	83,40	29,99	75,31
7	0,38	0,60	84,00	29,32	75,98
8	0,38	0,70	84,70	28,66	76,64
8	0,38	0,80	85,40	28,00	77,30
9	0,38	0,90	86,30	27,34	77,96
10	0,38	1,00	87,30	26,67	78,63
11	0,38	1,10	88,40	26,01	79,29
12	0,38	1,20	89,60	25,35	79,95

Kecepatan Angin Titik Ukur 4, Variasi Volume air, Dimensi kolom, suhu, dan Kelembaban

No	<i>m/s</i>	<i>m³</i>	<i>m²</i>	<i>°C</i>	%
1	0,51	0,10	81,90	33,10	72,00
2	0,51	0,10	82,00	32,44	72,66
	0,51	0,20	82,20	31,77	73,33
	0,51	0,30	82,50	31,11	73,99
	0,51	0,40	82,90	30,45	74,65
	0,51	0,50	83,40	29,79	75,31
	0,51	0,60	84,00	29,12	75,98

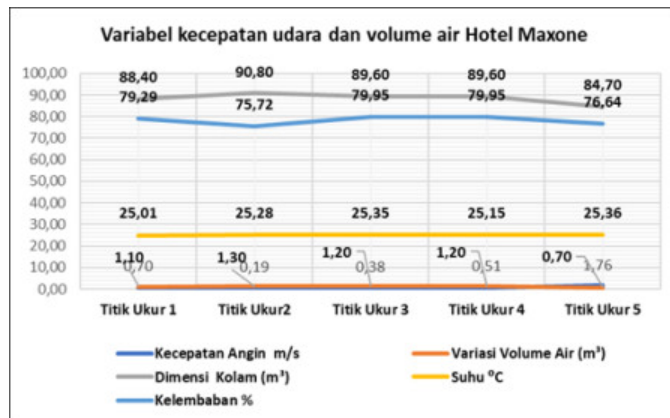


8	0,51	0,70	84,70	28,46	76,64
8	0,51	0,80	85,40	27,80	77,30
9	0,51	0,90	86,30	27,14	77,96
10	0,51	1,00	87,30	26,47	78,63
11	0,51	1,10	88,40	25,81	79,29
12	0,51	1,20	89,60	25,15	79,95

Kecepatan Angin Titik Ukur 5, Variasi Volume air, Dimensi kolam, suhu, dan Kelembaban

No	<i>m/s</i>	<i>m³</i>	<i>m²</i>	<i>°C</i>	<i>%</i>
1	1,76	0,10	81,90	30,00	72,00
2	1,76	0,10	82,00	29,34	72,66
3	1,76	0,20	82,20	28,67	73,33
4	1,76	0,30	82,50	28,01	73,99
5	1,76	0,40	82,90	27,35	74,65
6	1,76	0,50	83,40	26,69	75,31
7	1,76	0,60	84,00	26,02	75,98
8	1,76	0,70	84,70	25,36	76,64

Titik Ukur	Kecepatan Angin	Variasi Volume	Dimensi	Suhu	Kelembaban
<i>meter</i>	<i>m/s</i>	<i>Air (m³)</i>	<i>Kolam (m²)</i>	<i>°C</i>	<i>%</i>
Titik Ukur 1	0,70	1,10	88,40	25,01	79,29
Titik Ukur 2	0,19	1,30	90,80	25,28	75,72
Titik Ukur 3	0,38	1,20	89,60	25,35	79,95
Titik Ukur 4	0,51	1,20	89,60	25,15	79,95
Titik Ukur 5	1,76	0,70	84,70	25,36	76,64



Gambar 78 Grafik model pergerakan udara, modifikasi volume air dan dimensi kolam Hotel Maxone





Gambar 79. Model 3D kolam renang Hotel Maxone

Berdasarkan tabel dan grafik variasi modifikasi kolam dan lingkungan termal pada Hotel Maxon didapatkan batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7°C dengan Target suhu 25°C dan kelembaban 70% berdasarkan standard ASHRAE 55 2020 dan PMV serta PPD maka penambahan dimensi kolam sebesar 1.20 m² dan koefisien 0,65 dengan dimensi awal sebesar 81,90 m³ menjadi 89,60 m³ sehingga angka penerimaan termal untuk suhu sebesar 24,7°C, peningkatan kelembaban 74,9% dan kecepatan angin rata-rata sebesar 0,7 - 1,3 m/s. Hasil modifikasi kolam renang pada Hotel Maxone tersebut dapat menurunkan suhu sebesar 7,8°C dan peningkatan kelembaban sebesar 7,83% serta kecepatan angin rata-rata 0,7 - 1,03 m/s.

B. Pemodelan berdasarkan Luasan Vegetasi

Untuk menghitung penurunan suhu dan peningkatan kelembaban pada variasi luasan vegetasi dilakukan perhitungan prosentase luasan vegetasi dalam bangunan dengan perbandingan luasan bangunan yang dikondisikan dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$Pv (\%)= \left(\frac{Lv}{Lb} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- Prosentase Vegetasi
- Luasan Vegetasi dalam Bangunan
- Luas bangunan/lantai yang di kondisikan



Kemudian untuk mendapatkan nilai suhu dan kelembaban berdasarkan pada variasi dan modifikasi vegetasi dengan persamaan berikut

$$Koeff(\%) = \left[\left(\frac{pv1}{av2} \right) \times 100\% \right]$$

$$Suhu = koeff - vs$$

$$Humidity = koeff + vs$$

.....(5)

Dimana:

Koeff (%) = Prosentase

pv1 = Rata-rata prosentase variasi luasan vegetasi

av2 = Rata-rata prosentase penambahan vegetasi

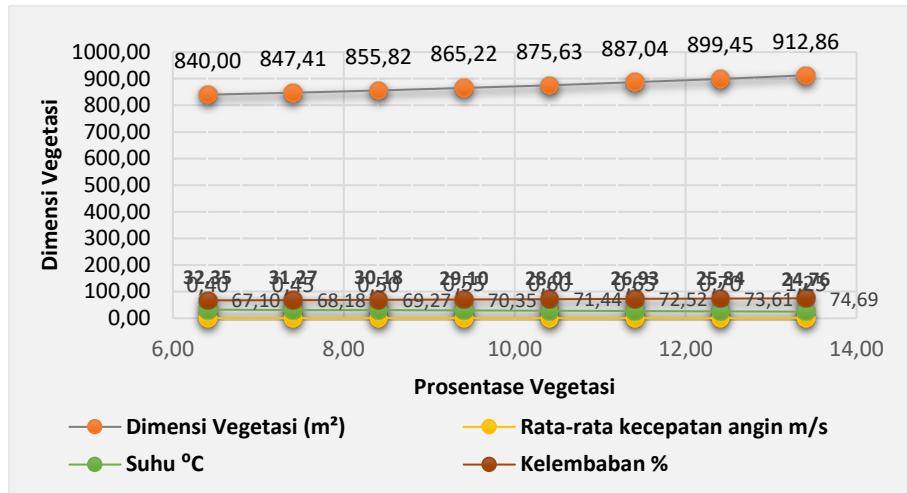
vs = temperatur dan kelembaban hasil dari simulasi (°C)

Pemodelan luasan vegetasi didasarkan pada proporsi luas lantai yang di kondisikan dengan luas luasan vegetasi dalam bangunan seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 35. Variabel penambahan prosentase vegetasi dan indikator lingkungan Termal Mal Nipah

Batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7 °C (Target 25°C, Humadity 70 %)					
No	Prosentase Variasi Luasan Vegetasi	Dimensi m ²	Rata-rata kecepatan angin m/s	Suhu °C	Kelembaban %
1	6,41	840,00	0,40	32,35	67,10
2	7,41	847,41	0,45	31,21	68,24
3	8,41	855,82	0,50	30,08	69,37
4	9,41	865,22	0,55	28,94	70,51
5	10,41	875,63	0,60	27,81	71,64
6	11,41	887,04	0,65	26,67	72,78
7	12,41	899,45	0,70	25,54	73,91
8	13,41	912,86	0,75	24,76	74,69
	Rata-Rata	Rata-Rata	Koefisien		
	1,00	6.983,43	1,14		
	9,91	872,93			





Gambar 80 Grafik variasi modifikasi Luasan Vegetasi Mal Nipah

Berdasarkan tabel dan grafik variasi prosentase vegetasi dan lingkungan termal pada Mal Nipah didapatkan batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7°C dengan Target suhu 25°C dan kelembaban 60% berdasarkan standard ASHRAE 55 2020 dan PMV serta PPD maka penambahan prosentase vegetasi dalam bangunan sebesar 13,41% dengan angka koefisien 1,08 dengan prosentase awal sebesar 6,41% menjadi 13,41% (912,9 m²) sehingga angka penerimaan termal untuk suhu sebesar 24,76°C, kelembaban 74,69% dan kecepatan angin rata-rata sebesar 0,65 m/s.

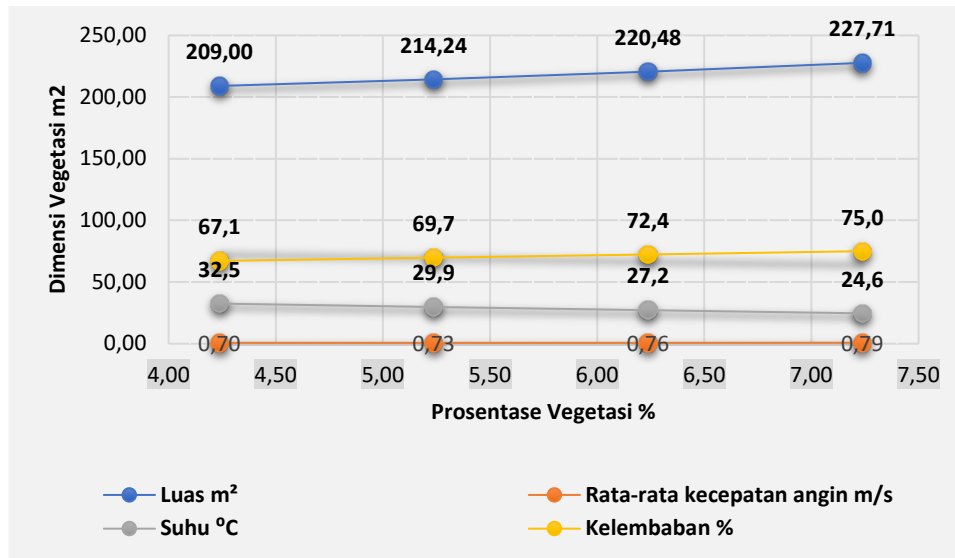
Hasil modifikasi vegetasi pada Mal Nipah tersebut dengan luasan vegetasi sebesar **13,41%** dapat menurunkan suhu sebesar **7,6°C** dan peningkatan kelembaban sebesar **7,59%** serta kecepatan angin rata-rata **0,7 - 1,25 m/s**.

Selanjutnya variasi pemodelan vegetasi pada hotel Maxone dengan nilai koefisien 2,63%, dengan penambahan variasi luasan vegetasi sebesar 0,30 m³ seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 36. Variabel penambahan prosentase vegetasi dan indikator lingkungan Termal Hotel Maxone

Batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7 °C (Target 25°C, Humadity 70 %)					
No	Prosentase Variasi Luasan Vegetasi	Dimensi m ²	Rata-rata kecepatan angin m/s	Suhu °C	Kelembaban %
1	4,24	209,00	0,70	32,5	67,1
	5,24	214,24	0,73	29,9	69,7
	6,24	220,48	0,76	27,2	72,4
	7,24	227,71	0,79	24,6	75,0
	Rata-Rata	Rata-Rata	Koefisien		
	1,00	871,43	2,63		





Gambar 81 Grafik variasi modifikasi Luasan Vegetasi Hotel Maxone

Berdasarkan tabel dan grafik variasi prosentase vegetasi dan lingkungan termal pada Hotel Maxone didapatkan batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7°C dengan Target suhu 25°C dan kelembaban 60% berdasarkan standard ASHRAE 55 2020 dan PMV serta PPD maka penambahan prosentase vegetasi dalam bangunan sebesar 20.32% dengan angka koefisien 2,63 dengan prosentase awal sebesar 4,24% menjadi **7,24%** (227,71 m²) sehingga angka penerimaan termal untuk suhu sebesar **24,6°C**, kelembaban **75,0%** dan kecepatan angin rata-rata sebesar 0,8 m/s.

Hasil modifikasi model vegetasi pada Hotel Maxone tersebut dengan luasan vegetasi sebesar **7,24%** dapat menurunkan suhu sebesar **7,9°C** dan peningkatan kelembaban sebesar **7,9%** serta kecepatan angin rata-rata **0,7 - 0,95 m/s**.

7.5.4 Aplikasi Model Lingkungan dan Kenyamanan Termal pada Bangunan di Iklim Tropis Panas dan Lembab

Lingkungan termal dalam bangunan merujuk pada kondisi suhu, kelembaban, dan kenyamanan termal yang ada di dalam ruangan. Di iklim tropis panas dan lembab, menciptakan lingkungan termal yang nyaman menjadi penting karena

tinggi dan tingkat kelembaban yang rendah dapat membuat penghuni tidak nyaman. Model lingkungan termal adalah cara untuk memodelkan analisis bagaimana panas berpindah di antara berbagai elemen dalam



suatu lingkungan atau sistem. Ini digunakan untuk mempelajari perilaku termal elemen atau benda-benda seperti bangunan, material, ketersediaan air, vegetasi dan perangkat elektronik.

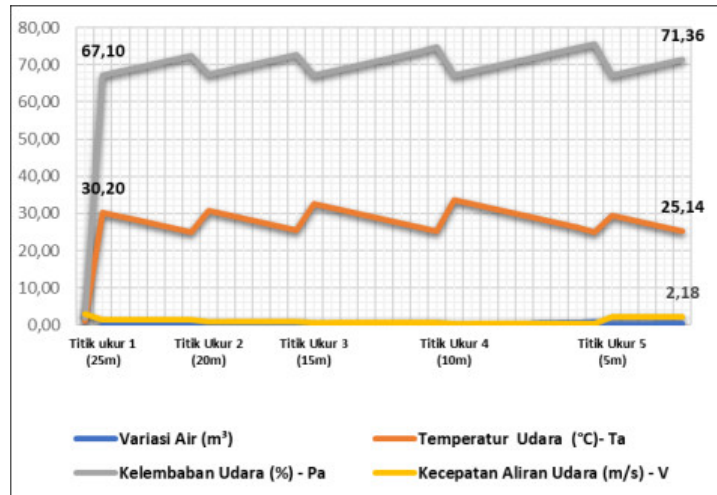
Integrasi elemen air dan vegetasi dalam desain lingkungan termal pada bangunan dapat memberikan sejumlah manfaat signifikan. Kombinasi keduanya dapat menciptakan suasana yang nyaman, mengurangi suhu, meningkatkan kualitas udara, dan mendukung keberlanjutan.

Tabel 37. Hasil variasi dan modifikasi variabel dan indikator lingkungan termal obyek penelitian

Variabel/Indikator	Variasi dan pemodelan	
	Mal Nipah	Maxone Hotel
Kecepatan udara dan Volume air	Tingkatkan jam operasional menjadi 3 kali sehari pada pukul 12:00-13:00, 14:00-15.00 dan 15:30-17:00. Peningkatan dimensi kolam sebesar $\pm 0,50 \text{ m}^2$	Pembuatan air mancur di sekitar kolam dan fitur air kolam bergerak. Pertambahan dimensi kolam sebesar $\pm 1,10 \text{ m}^2$.
Vegetasi dan lanskap	Meningkatkan proporsi vegetasi dari 6,41% menjadi 11,41%. bangunan.	Meningkatkan proporsi vegetasi dari 9,32% menjadi 20,32% di sisi Utara.

Variasi pemodelan elemen arsitektur berupa pergerakan udara, dimensi kolam dan volume air, serta vegetasi, berdasarkan hasil pemodelan tersebut diperoleh penurunan suhu di Mal Nipah sebesar $7,15 - 8,04^\circ\text{C}$ dan kenaikan kelembaban sebesar 4%. Berdasarkan hasil simulasi pemodelan diperoleh penurunan suhu di Hotel Maxone sebesar $7,18 - 8,5^\circ\text{C}$ dan peningkatan kelembaban 6% . Dari hasil pemodelan menunjukkan adanya pengaruh pergerakan udara, volume air, pengaturan jenis vegetasi, dan peningkatan dimensi kolam. Ciri-ciri air yang bergerak sangat signifikan terhadap lingkungan dan kenyamanan termal pengunjung. Model hasil modifikasi variabel lingkungan termal yang berpengaruh dapat dilihat pada gambar berikut.





Gambar 82. Grafik Model Scatter pergerakan udara, dimensi kolam air, dan prosentase luasan Vegetasi Mal Nipah

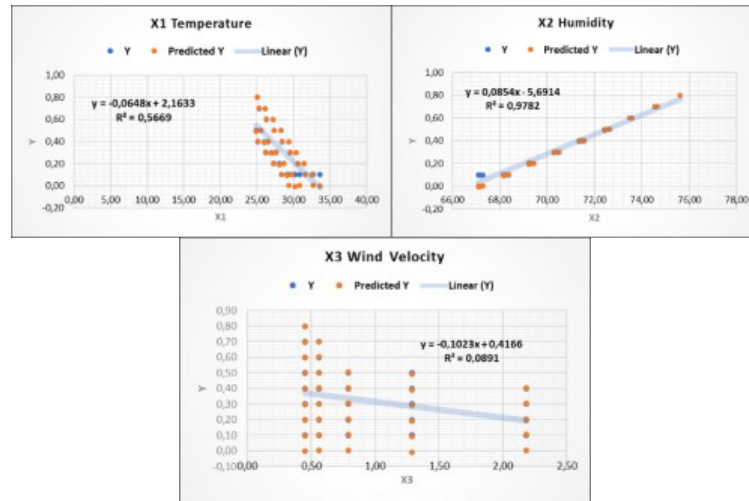
Selanjutnya untuk melihat korelasi antara setiap variabel pada analisis lingkungan termal mal Niapah seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 38. Tabel analisis regresi linear berganda Mal Nipah

Titik Ukur	Temperatur	Kelembaban	Kecepatan	Variasi
Parameter	Udara	Udara	Aliran Udara	Air
X	X1	X2	X3	Y
Titik ukur 1	30,20	67,10	1,29	0,10
	29,14	68,16	1,29	0,10
	28,07	69,23	1,29	0,20
	27,01	70,29	1,29	0,30
	25,94	71,36	1,29	0,40
Titik Ukur 2	24,88	72,42	1,29	0,50
	30,80	67,30	0,79	0,10
	29,74	68,36	0,79	0,10
	28,67	69,43	0,79	0,20
	27,61	70,49	0,79	0,30
Titik Ukur 3	26,54	71,56	0,79	0,40
	25,48	72,62	0,79	0,50
	32,70	67,20	0,56	0,10
	31,64	68,26	0,56	0,10
	30,57	69,33	0,56	0,20
Titik Ukur 4	29,51	70,39	0,56	0,30
	28,44	71,46	0,56	0,40
	27,38	72,52	0,56	0,50
	26,32	73,58	0,56	0,60
	25,25	74,65	0,56	0,70
Titik Ukur 5	33,60	67,10	0,45	0,10
	32,54	68,16	0,45	0,10
	31,47	69,23	0,45	0,20
	30,41	70,29	0,45	0,30
	29,34	71,36	0,45	0,40
Titik Ukur 5	28,28	72,42	0,45	0,50
	27,22	73,48	0,45	0,60
	26,15	74,55	0,45	0,70
	25,09	75,61	0,45	0,80
	29,40	67,10	2,18	0,10
Titik Ukur 5	28,34	68,16	2,18	0,10
	27,27	69,23	2,18	0,20
	26,21	70,29	2,18	0,30
	25,14	71,36	2,18	0,40



Penjelasan dari tabel tersebut diatas seperti terlihat pada gambar berikut

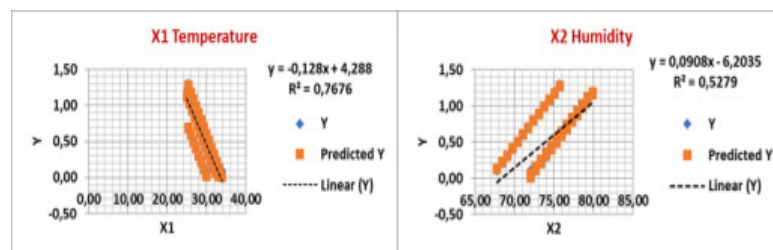


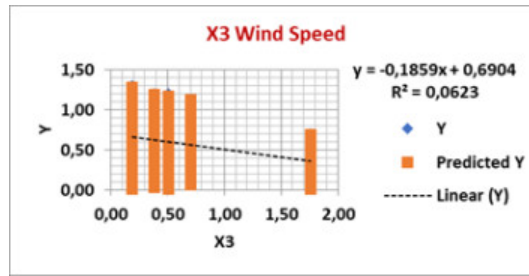
Gambar 83 Bagan regresi hasil analisis rentang volume air terhadap pergerakan udara, suhu, dan kelembaban Mal Nipah

Tabel 39 Hasil Persamaan regersi linear

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999839929
R Square	0,999679884
Adjusted R Square	0,999647872
Standard Error	0,004207202
Observations	34

Tabel 39 memperlihatkan hasil persamaan regresi linear berganda menjelaskan bahwa nilai korelasi antara X1, X2, dan X3 dengan Y adalah 0.999, dimana angka ini masuk dalam kategori sangat kuat hubungan korelasinya, sedangkan nilai koefisien determinasi 0.999 atau 99.96% yang berarti bahwa suhu (X1), kelembaban (X2), dan pergerakan udara (X3) dapat menganalisis rentang variasi volume air (Y) sebesar 99.96%. Nilai signifikansi $<\alpha=1.701$ sehingga dapat di simpulkan bahwa adanya pengaruh yang signifikan antara variabel suhu, kelembaban, dan kecepatan udara (X) dengan modifikasi volume air (Y). Selanjutnya analisis regersi linear berganda pada Hotel Maxone seperti terlihat pada bagan di bawah ini.





Gambar 84. Bagan regresi hasil analisis rentang volume air terhadap pergerakan udara, suhu, dan kelembaban Hotel Maxone

Tabel 40 Hasil Persamaan regersi linear Hotel Maxone

Regression Statistics	
Multiple R	0,99634418
R Square	0,992701725
Adjusted R Square	0,992310746
Standard Error	0,031775487
Observations	60

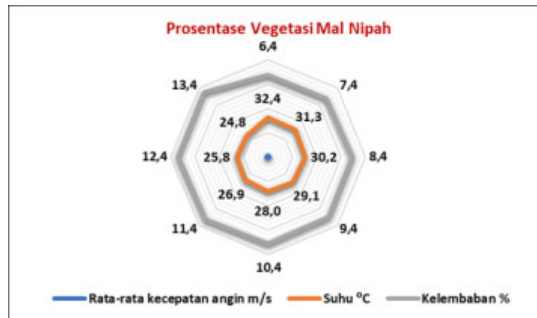
Tabel 40 memperlihatkan hasil persamaan regresi linear berganda menjelaskan bahwa nilai korelasi antara X1, X2, dan X3 dengan Y adalah 0.996, dimana angka ini masuk dalam kategori sangat kuat hubungan korelasinya, sedangkan nilai koefisien determinasi 0.992 atau 99.92% yang berarti bahwa suhu (X1), kelembaban (X2), dan pergerakan udara (X3) dapat menganalisis rentang variasi volume air (Y) sebesar 99.92%. Nilai signifikansi $<\alpha=8.902$ sehingga dapat di simpulkan bahwa adanya pengaruh yang signifikan antara variabel suhu, kelembaban, dan kecepatan udara (X) dengan modifikasi volume air (Y).

Aplikasi model lingkungan dan kenyamanan termal berdasarkan variabel vegetasi pada kedua obyek penelitian seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 41. Variabel penambahan prosentase vegetasi dan indikator lingkungan termal Mal Nipah

Batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7 °C (Target 25°C, Humadity 70 %)			
Prosentase Luasan (%)	kecepatan angin (m/s)	Suhu°C	Kelembaban (%)
6,4	1,05	32,4	67,1
7,4	1,05	31,3	68,2
8,4	1,05	30,2	69,3
9,4	1,05	29,1	70,4
10,4	1,05	28,0	71,4
11,4	1,05	26,9	72,5
12,4	1,05	25,8	73,6
13,4	1,05	24,8	74,7





Gambar 85. Grafik model modifikasi luasan vegetasi Mal Nipah

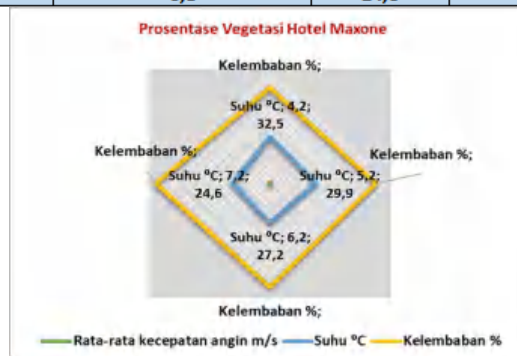
Berdasarkan tabel dan grafik variasi prosentase vegetasi dan lingkungan termal pada Mal Nipah didapatkan batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7°C dengan Target suhu 25°C dan kelembaban 60% berdasarkan standard ASHRAE 55 2020 maka penambahan prosentase vegetasi dalam bangunan sebesar 13,41% dengan angka koefisien 1,08 dengan prosentase awal sebesar 6,41% menjadi 13,41% (912,9 m²) sehingga angka penerimaan termal untuk suhu sebesar 24,8°C, kelembaban 74,7% dan kecepatan angin 1,05 m/s.

Hasil modifikasi vegetasi pada Mal Nipah tersebut dengan luasan vegetasi sebesar 13,41% dapat menurunkan suhu sebesar 7,6°C dan peningkatan kelembaban sebesar 7,59% serta kecepatan angin rata-rata 0,7 - 1,25 m/s.

Selanjutnya aplikasi model variasi vegetasi pada hotel Maxone dengan nilai koefisien 2,63%, dengan penambahan variasi luasan vegetasi sebesar 0,30 m³ seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 42. Variabel penambahan prosentase vegetasi dan indikator lingkungan termal Mal Nipah

Batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7 °C (Target 25°C, Humadity 70%)			
Prosentase Luasan	Rata-rata kecepatan angin	Suhu	Kelembaban
%	m/s	°C	%
4,2	0,7	32,5	67,1
5,2	0,7	29,9	69,7
6,2	0,8	27,2	72,4
7,2	0,8	24,6	75,0



Gambar 86. Bagan model variasi modifikasi luasan Vegetasi Hotel Maxone



Berdasarkan tabel dan grafik variasi prosentase vegetasi dan lingkungan termal pada Hotel Maxone didapatkan batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7°C dengan Target suhu 25°C dan kelembaban 60% berdasarkan standard ASHRAE 55 2020 dan PMV serta PPD maka penambahan prosentase vegetasi dalam bangunan sebesar 20.32% dengan angka koefisien 2,63 dengan prosentase awal sebesar 4,24% menjadi 7,24% (227,71 m²) sehingga angka penerimaan termal untuk suhu sebesar 24,6°C, kelembaban 75,0% dan kecepatan angin rata-rata sebesar 0,8 m/s.

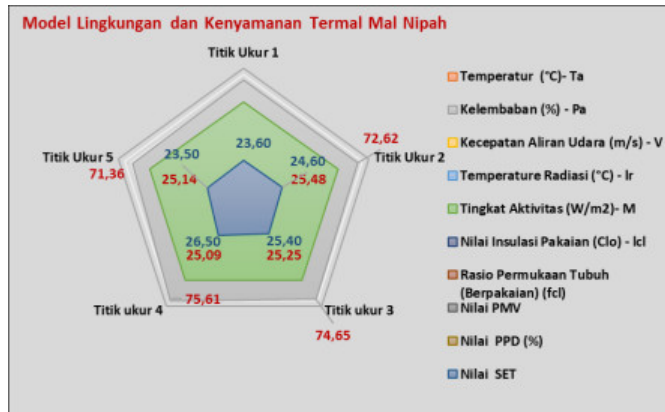
Hasil modifikasi model vegetasi pada Hotel Maxone tersebut dengan luasan vegetasi sebesar 7,24% dapat menurunkan suhu sebesar 7,9°C dan peningkatan kelembaban sebesar 7,9% serta kecepatan angin rata-rata 0,7 - 0,95 m/s.

Berdasarkan atas hasil pengukuran eksisting, analisis simulasi pemodelan, dan simulasi CFD dari kedua obyek penelitian maka model lingkungan dan kenyamanan termal kedua obyek penelitian tersebut dengan batas penerimaan 90% = Suhu pengoperasian: 25,7 - 32,7°C dengan Target suhu 25°C dan kelembaban 70% berdasarkan standard ASHRAE 55 2020, *Predicted Mean Vote* (PMV), *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) dan *Thermal Sensation Vote* (TSV) maka model lingkungan termal seperti terlihat pada tabel dan bagan sebagai berikut.

Tabel 43 Model lingkungan dan kenyamanan termal Mal Nipah

Model Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal													
Nipah Mall				GMT+08:00	Plot Title: HOBO 2 29 Juni 22		05°13'89"66, 119°45'00"11			CBE			
LGR S/N: 20325185	LGR S/N: 20325185	LGR S/N: 20325185	HP-866B-APP	LGR S/N: 20320180									
Parameter	Volume Air	Temperatur	Kelembaban	Aliran Udara	Radiasi	Aktivitas	Pakaian	Rasio Permukaan Tubuh (Berpakaian)	Nilai	Nilai	Nilai	Nilai	Nilai
m	m ³	(°C)- Ta	(%) - Pa	(m/s) - V	(°C) - Ir	(W/m ²)- M	(Clo) - Icl	(fcl)	PMV	PPD (%)	SET	Sensation	
Titik Ukur 1	0,50	24,88	72,42	1,29	32,50	59,00	0,60	1,20	0,41	10,00	23,60	Neutral	
Titik Ukur 2	0,50	25,48	72,62	0,79	32,50	60,20	0,60	1,20	0,20	6,00	24,60	Neutral	
Titik ukur 3	0,70	25,25	74,65	0,46	33,50	60,20	0,70	1,20	0,07	5,00	25,40	Neutral	
Titik ukur 4	0,80	25,09	75,61	0,40	33,50	60,20	0,70	1,20	0,15	5,00	26,50	Neutral	
Titik Ukur 5	0,40	25,14	71,36	2,18	33,50	60,20	0,60	1,20	0,44	9,00	23,50	Neutral	
Vegetasi	13,40	24,80	74,70	1,05	33,50	60,20	0,70	1,20	0,47	10,00	23,40	Neutral	





Gambar 87. Penerapan Model pergerakan udara, volume air, dimensi kolam air, dan prosentase luasan Vegetasi lingkungan termal Mal Nipah

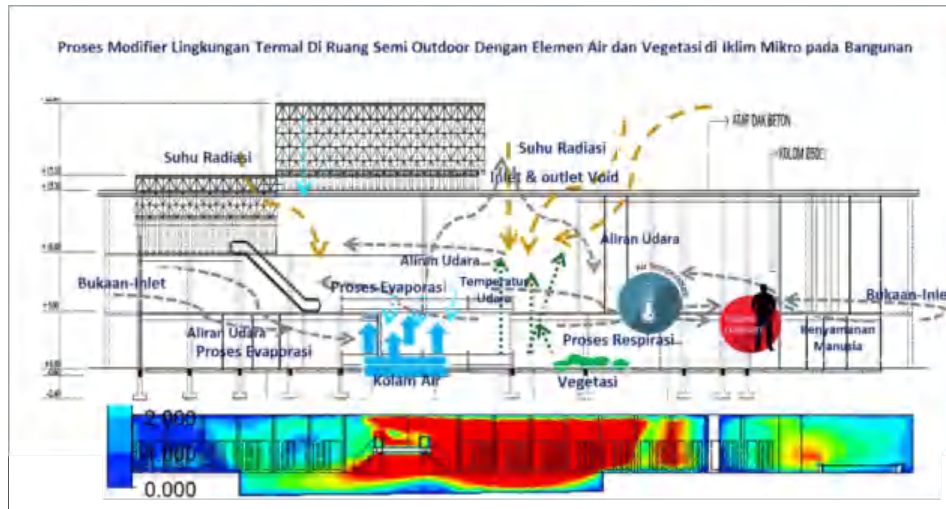
Tabel 44. Model Lingkungan dan kenyamanan termal Hotel Maxone

Hotel Maxone												Model Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal					
LGR 5/N: 20325185		LGR 5/N: 20325185		LGR 5/N: 20325185		HP-866 B-APP		LGR 5/N: 20320180		GMT+08:00		Plot Title: HOBO 229 Juni 22		05°13'8" 66, 119°45'00"11		CBE	
Parameter	Volume Air	Temperatur	Kelembaban	Kecepatan Aliran Udara	Temperature Radiasi	Tingkat Aktivitas	Nilai Insulasi Pakaian	Rasio Permukaan Tubuh (Berpakaian)	Nilai PMV	Nilai PPD (%)	Nilai SET	Nilai Sensation					
m	m ³	(°C) - Ta	(%) - Pa	(m/s) - V	(°C) - Ir	(W/m2) - M	(Clo) - Icl	(fcl)									
Titik Ukur 1	1,10	25,01	79,29	0,70	33,50	59,00	0,60	1,20	0,29	7,00	24,30	Neutral					
Titik Ukur 2	1,30	25,28	75,72	0,19	33,50	60,20	0,60	1,20	0,18	6,00	26,60	Neutral					
Titik Ukur 3	1,20	25,35	79,95	0,38	33,50	60,20	0,70	1,20	0,07	5,00	25,40	Neutral					
Titik Ukur 4	0,51	25,15	79,95	0,51	33,50	60,20	0,70	1,20	0,25	6,00	24,50	Neutral					
Titik Ukur 5	0,70	25,36	76,64	1,76	33,50	60,20	0,70	1,20	0,49	10,00	23,20	Neutral					
Vegetasi	7,20	24,60	75,00	0,70	33,50	60,20	0,70	1,20	0,37	8,00	23,90	Neutral					

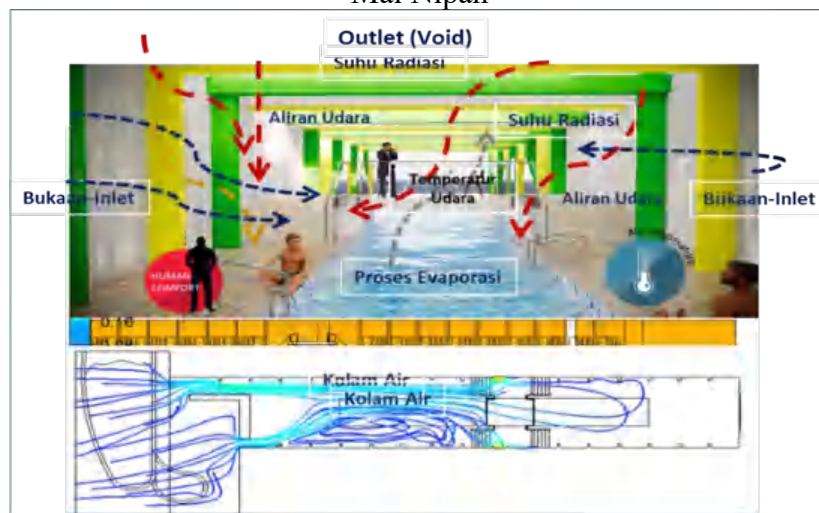


Gambar 90. Penerapan Model pergerakan udara, volume air, dimensi kolam air, dan prosentase luasan vegetasi lingkungan termal Hotel Maxone



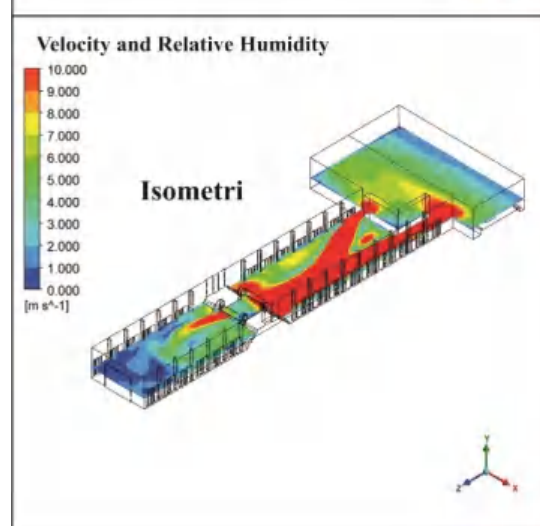
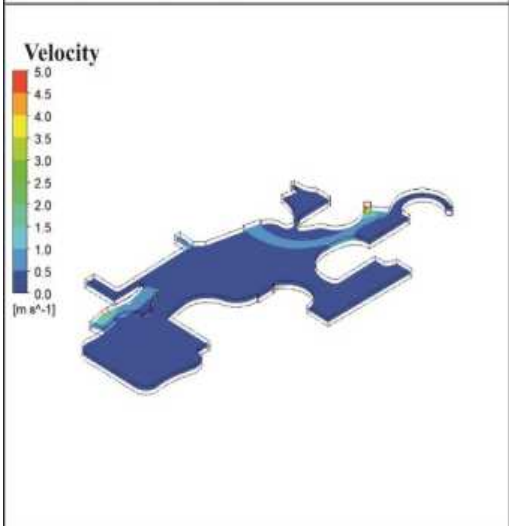
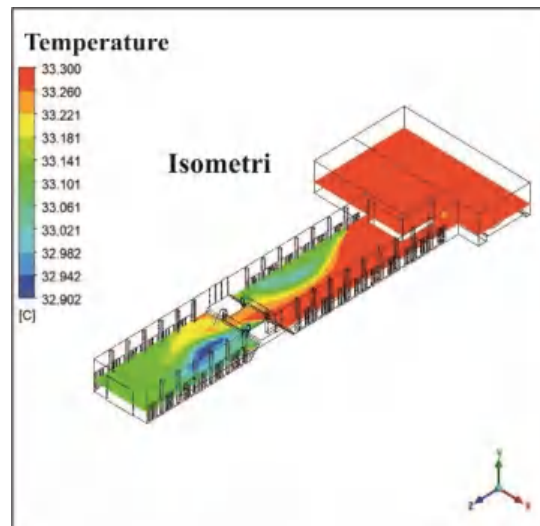
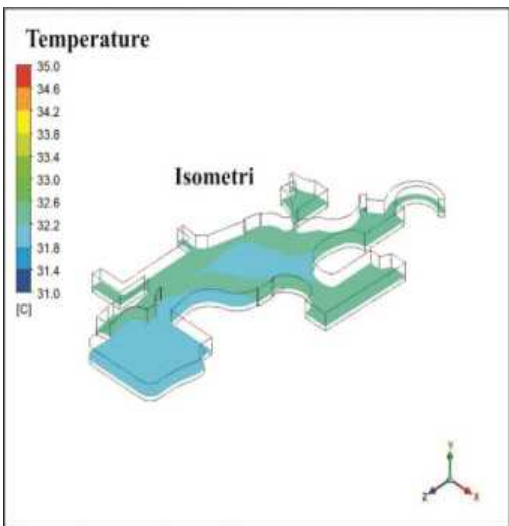
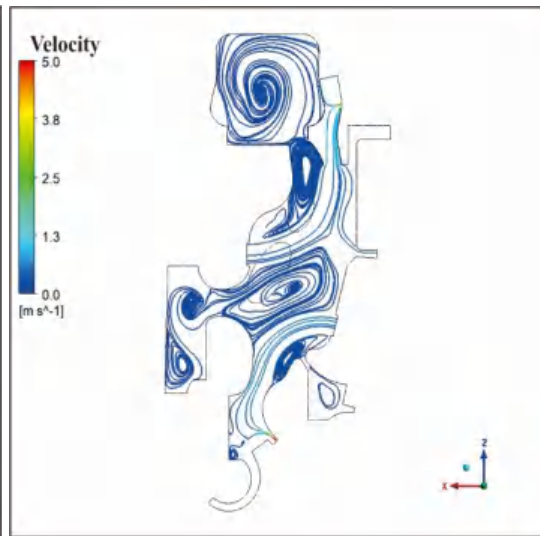
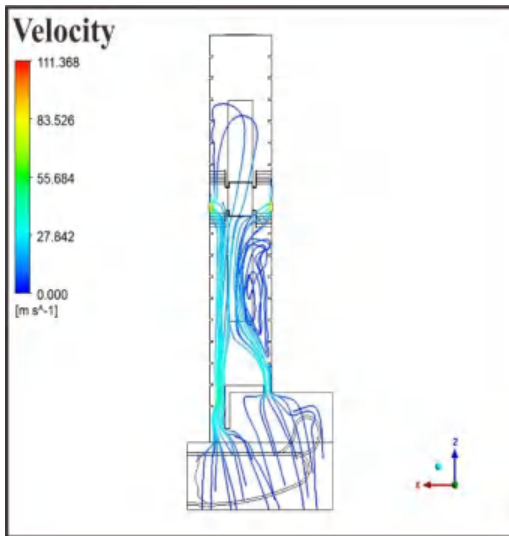


Gambar 91 Model Proses modifier lingkungan termal di ruang semi outdoor Mal Nipah



Gambar 92. Model Proses modifier lingkungan termal di ruang semi outdoor Hotel Maxone

Evaluasi dan perbandingan data simulasi variasi pemodelan dan simulasi CFD berdasar pada standar ASHRAE 55 2020 dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut.



par 93 Model Simulasi CFD bangunan Mal Nipah dan Maxone Hotel



Optimization Software:
www.balesio.com

7.6. Pembahasan Temuan Penelitian

Benang merah antar temuan penelitian merujuk pada konsep atau tema yang menghubungkan temuan-temuan yang ditemukan dalam penelitian-penelitian yang berbeda. Meskipun penelitian-penelitian tersebut mungkin berfokus pada topik atau konteks yang berbeda, ada elemen-elemen yang saling terkait atau memiliki kesamaan yang signifikan.

Benang merah antar temuan penelitian membantu mengidentifikasi konsep atau tema yang penting dalam bidang arsitektur dan memperkuat pemahaman kita tentang bagaimana elemen-elemen tersebut saling terkait dan berinteraksi. Hal ini dapat berkontribusi pada pengembangan teori, praktek, dan kebijakan dalam bidang arsitektur yang lebih kokoh dan berdasarkan bukti-bukti yang solid.

Dalam setiap penelitian, temuan utama mencerminkan hasil penelitian yang signifikan dan penting. Penjelasan tentang temuan utama harus didasarkan pada data yang diperoleh selama penelitian, disajikan secara objektif, dan diinterpretasikan dengan cermat untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang topik yang diteliti.

Temuan utama penelitian tentang kenyamanan dan lingkungan termal dapat bervariasi tergantung pada fokus penelitian dan metodologi yang digunakan. Berikut adalah beberapa hal yang penting yang ditemukan dalam penelitian tentang kenyamanan dan lingkungan termal sebagai berikut:

a. Preferensi suhu

Penelitian tentang preferensi suhu manusia dapat mengungkapkan temuan utama mengenai suhu yang paling nyaman bagi mayoritas orang.

b. Efisiensi energi

Penelitian tentang kenyamanan dan lingkungan termal juga dapat memberikan temuan utama mengenai strategi efisiensi energi.

c. Desain lingkungan yang mempromosikan kenyamanan termal

Penelitian dapat menghasilkan temuan utama mengenai desain lingkungan yang dapat meningkatkan kenyamanan termal. Misalnya penggunaan hawa alami, ventilasi yang baik, atau penggunaan material bangunan tepat dapat membantu menjaga kenyamanan termal di dalam ruangan.



Benang merah ini membantu untuk mengidentifikasi dan menggambarkan keterkaitan atau pola yang ada di antara temuan-temuan topik penelitian tersebut diatas, sehingga memperkuat pemahaman dan keandalan pengetahuan dalam bidang tersebut. Benang merah antar temuan penelitian dalam bidang arsitektur khususnya bidang kenyamanan dan lingkungan termal menunjukkan bahwa lingkungan fisik, seperti tata letak bangunan, suhu, kelembaban, radiasi, pergerakan udara, ventilasi, shading device, dan kualitas udara, memiliki dampak yang signifikan terhadap kenyamanan penghuni.

Berikut adalah penjelasan dan pembahasan mengenai hubungan antara elemen-elemen berdasarkan topik penelitian:

1. Kenyamanan dan lingkungan termal: Kenyamanan termal merujuk pada kondisi di mana manusia merasa nyaman secara termal dalam suatu lingkungan. Lingkungan termal yang nyaman melibatkan keseimbangan yang tepat antara suhu udara, kelembaban, aliran udara, dan suhu permukaan. Dalam iklim mikro tropis yang panas dan lembab, menciptakan kenyamanan termal menjadi tantangan karena kebutuhan untuk mengatasi suhu yang tinggi dan kelembaban yang tinggi.
2. Sensasi termal: Sensasi termal adalah persepsi yang dirasakan oleh manusia terhadap kondisi termal di sekitarnya. Dalam iklim mikro tropis yang panas dan lembab, manusia mungkin mengalami sensasi panas, lengket, dan tidak nyaman. Oleh karena itu, penting untuk menciptakan kondisi termal yang dapat mengurangi sensasi termal yang tidak nyaman dan meningkatkan kenyamanan penghuni.
3. Pergerakan udara: Pergerakan udara atau aliran udara dalam lingkungan mikro tropis dapat berperan penting dalam menciptakan kenyamanan termal. Aliran udara yang tepat dapat membantu mengurangi sensasi panas, mempercepat proses penguapan keringat, dan memberikan efek pendinginan alami. Strategi seperti penggunaan kipas angin, ventilasi silang, atau desain yang mendorong aliran udara dapat meningkatkan

pergerakan udara dan kenyamanan termal.

Model lingkungan termal dalam bangunan: Model lingkungan termal dalam bangunan melibatkan penggunaan teknik pemodelan dan simulasi



untuk memprediksi kondisi termal di dalam bangunan. Dalam iklim mikro tropis yang panas dan lembab, model tersebut dapat membantu dalam merancang sistem ventilasi, pencahayaan alami, penggunaan bahan bangunan yang tepat, dan pengaturan suhu yang optimal. Model ini membantu dalam mengoptimalkan kondisi termal yang nyaman dan efisiensi energi dalam bangunan.

Dalam iklim mikro tropis yang panas dan lembab, menjaga kenyamanan termal memerlukan pendekatan holistik yang mempertimbangkan sensasi termal, pergerakan udara, dan desain lingkungan termal yang efektif. Dengan menggunakan model lingkungan termal, elemen-elemen tersebut dapat dipelajari, dievaluasi, dan dioptimalkan dalam desain dan operasional bangunan untuk mencapai kenyamanan termal yang optimal.



Gambar 90. Hubungan antara topik-topik penelitian

Dengan memahami hubungan dan keterkaitan antara kenyamanan dan lingkungan termal, sensasi termal, pergerakan udara, dan model lingkungan termal dalam konteks iklim mikro tropis yang panas dan lembab, dapat dirancang strategi

dan pengaturan lingkungan yang optimal untuk mencapai kenyamanan yang diinginkan. Integrasi yang tepat antara elemen-elemen tersebut dapat



meningkatkan pengalaman penghuni dan efisiensi energi dalam bangunan di iklim mikro tropis yang panas dan lembab.

Berdasarkan pemahaman tersebut diatas, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Kenyamanan termal dalam iklim mikro tropis panas dan lembab memerlukan perhatian yang serius terhadap faktor-faktor seperti suhu udara, kelembaban, aliran udara, dan suhu permukaan.
2. Sensasi termal yang dialami oleh individu akan dipengaruhi oleh faktor-faktor termal tersebut. Tingkat kelembaban yang tinggi dapat meningkatkan sensasi termal yang tidak nyaman, dan pergerakan udara yang baik dapat membantu mengurangi sensasi tersebut.
3. Pergerakan udara yang efektif melalui penggunaan strategi seperti ventilasi silang, kipas angin, atau desain ruangan yang memperhatikan aliran udara dapat meningkatkan kenyamanan termal di iklim mikro tropis yang panas dan lembab.
4. Model lingkungan termal dalam bangunan dapat digunakan untuk memprediksi dan memahami kondisi termal di dalam bangunan, serta membantu merancang sistem ventilasi, pencahayaan alami, dan pengaturan suhu yang optimal.

Dengan mempertimbangkan hubungan dan interaksi antara kenyamanan dan lingkungan termal, sensasi termal, pergerakan udara, dan model lingkungan termal, dapat dirancang solusi desain yang holistik dan terintegrasi untuk mencapai kenyamanan termal yang optimal dalam bangunan di iklim mikro tropis panas dan lembab. Tujuan akhirnya adalah menciptakan lingkungan yang nyaman, efisien energi, dan mendukung kesejahteraan penghuni.

Selanjutnya keberadaan elemen arsitektural berupa air dan elemen vegetasi dalam lingkungan mikro bangunan memiliki dampak signifikan terhadap kondisi termal dan kenyamanan di sekitar bangunan. Beberapa hal temuan utama dari keberadaan elemen-elemen ini termasuk sebagai berikut:

- a. Pendinginan alami: Elemen air seperti kolam, air mancur, atau air terjun dapat

hasilkan efek pendinginan alami. Penguapan air dari permukaan air dapat menurunkan suhu udara sekitarnya. Ketika udara lewat di atas permukaan air, penguapan mengurangi suhu udara melalui transfer panas. Hal ini dapat



memberikan pengaruh menyegarkan dan mendinginkan lingkungan mikro di sekitar bangunan.

- b. Kebutuhan pendinginan yang berkurang: Dengan adanya elemen air yang tepat di dalam lingkungan mikro, dapat membantu mengurangi beban pendinginan buatan. Dengan mengurangi suhu di sekitar bangunan, elemen air dapat mengurangi kebutuhan penggunaan pendingin udara atau sistem HVAC, yang pada gilirannya mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional.
- c. Peningkatan kelembaban udara: Elemen air juga dapat meningkatkan kelembaban udara di sekitar bangunan. Dalam iklim yang kering, penambahan kelembaban dapat membantu menciptakan kondisi termal yang lebih nyaman dan mengurangi efek kekeringan pada manusia dan lingkungan.
- d. Estetika dan relaksasi: Keberadaan elemen air dan elemen lansekap dapat memberikan keindahan visual dan suasana yang menenangkan. Pemandangan air dan elemen alam yang hijau dapat menciptakan lingkungan yang menenangkan dan meningkatkan kualitas lingkungan. Hal ini dapat memberikan manfaat psikologis dan mengurangi tingkat stres.

Berdasarkan pemahaman tersebut, dalam penelitian disertasi ini mencoba untuk menyimpulkan bagaimana integrasi model lingkungan termal dengan elemen air dan dalam memprediksi dan menganalisis efeknya terhadap iklim mikro dalam bangunan. Melalui pemodelan dan simulasi, dievaluasi pengaruh pergerakan udara, distribusi suhu, dan kelembaban yang dihasilkan oleh elemen air dan vegetasi tersebut. Optimasi penggunaan air dan vegetasi dalam mencapai efisiensi dan keberlanjutan. Penggunaan teknologi yang canggih, seperti sensor kelembaban tanah dan sistem pengairan otomatis, dapat membantu mengelola penggunaan air secara efisien. Selain itu, penggunaan tanaman yang tahan kekeringan dan memiliki kebutuhan air rendah juga menjadi perhatian dalam menjaga keseimbangan lingkungan.

Namun, penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor seperti ukuran lahan, keberlanjutan sumber daya air, dan pemeliharaan yang tepat dalam menanamkan dan mengintegrasikan elemen air dan elemen vegetasi dalam lingkungan mikro bangunan. Keberadaan elemen ini harus dirancang dengan



mempertimbangkan kondisi iklim, tata letak bangunan, dan dampak keseluruhan terhadap lingkungan sekitarnya.

Penggunaan elemen air dan elemen lansekap dalam desain lingkungan mikro dapat meningkatkan kenyamanan termal, mengurangi konsumsi energi, meningkatkan estetika, dan memberikan manfaat bagi penghuni bangunan serta lingkungan sekitarnya.

7.6.1. Tinjauan Filosofis Temuan

Tinjauan ini melibatkan tiga dimensi filosofis, yaitu ontologis, epistemologis, dan aksiologis, ketika diterapkan pada model lingkungan dan kenyamanan termal dalam bangunan dengan elemen air dan vegetasi di iklim tropis panas dan lembab.

Aspek ontologis dari model lingkungan dan kenyamanan termal pada bangunan dengan elemen air dan vegetasi di iklim tropis panas dan lembab berkaitan dengan pertanyaan tentang hakikat dan realitas dari model tersebut. Berikut adalah beberapa kesimpulan yang diambil secara ontologis.

- a. Model ini menggambarkan hakikat interdependensi elemen lingkungan, khususnya elemen air dan vegetasi, sebagai faktor yang saling memengaruhi dan membentuk iklim mikro di sekitar bangunan.
- b. Kesimpulan ontologis mungkin mencakup persepsi tentang realitas fisik dari elemen air dan vegetasi. Ini melibatkan pemahaman tentang bagaimana elemen ini dianggap sebagai entitas nyata dan bagaimana mereka berinteraksi dalam konteks lingkungan bangunan.
- c. Model ini dapat dianggap sebagai representasi yang sesuai dengan realitas lingkungan di iklim tropis panas dan lembab. Ini menunjukkan bahwa elemen air dan vegetasi bukan hanya konsep teoretis, tetapi juga bagian integral dari realitas fisik yang dapat diamati.
- d. Kesimpulan ontologis dapat mencakup pandangan tentang sifat dinamis lingkungan seiring waktu. Model ini mungkin menggambarkan hakikat perubahan dan dinamika elemen air dan vegetasi dalam merespons faktor-faktor

ngan yang berubah.



- e. Ontologi model dapat mencerminkan pandangan bahwa model ini seolah-olah menjadi entitas yang hidup, yang berkembang dan beradaptasi seperti organisme hidup dalam respons terhadap kondisi lingkungan.
- f. Kesimpulan ontologis mungkin mencerminkan pengakuan atas kompleksitas realitas lingkungan. Ini melibatkan pengertian bahwa elemen air dan vegetasi tidak hanya komponen individual tetapi juga bagian dari sistem yang kompleks.
- g. Ontologi model dapat mencakup pandangan bahwa model ini merupakan wujud konkret dari konsep-konsep lingkungan yang ditemukan dalam literatur ilmiah dan pemahaman teoretis.

Secara epistemologis, kesimpulan dari model lingkungan dan kenyamanan termal pada bangunan dengan elemen air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro di iklim tropis panas dan lembab mencakup pertimbangan tentang bagaimana pengetahuan diperoleh, dipahami, dan diterapkan. Berikut adalah beberapa kesimpulan secara epistemologis.

- a. Model ini mengandalkan sumber pengetahuan yang kuat tentang iklim tropis panas dan lembab, termasuk data iklim historis, karakteristik vegetasi lokal, dan pola perubahan iklim mikro.
- b. Penggunaan metode penelitian dan simulasi termal yang akurat untuk mengembangkan model. Metode ini didukung oleh pendekatan ilmiah dan berbagai teori terkait kenyamanan termal. Model ini diperkuat oleh upaya untuk memvalidasi hasil simulasi dengan data empiris, baik dari pengukuran lapangan maupun penelitian terdahulu. Hal ini menunjukkan keandalan pengetahuan yang dihasilkan oleh model.
- c. Model ini menggali konsep-konsep baru atau teori dalam kajian kenyamanan termal dan lingkungan mikro di iklim tropis.
- d. Model ini dapat dianggap sebagai langkah dalam pengembangan pengetahuan berkelanjutan tentang kenyamanan termal dan peran elemen air dan vegetasi dalam konteks iklim mikro tropis.

Aksiologis memberikan wawasan tentang dasar nilai dan etika yang pengembangan dan penerapan model lingkungan dan kenyamanan termal dalam konteks iklim tropis panas dan lembab.



- a. Model ini dapat dilihat sebagai langkah yang sesuai dengan nilai-nilai keberlanjutan dan keseimbangan ekologi. Penggunaan elemen air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro mencerminkan kepedulian terhadap pelestarian lingkungan alam.
- b. Penekanan pada nilai-nilai kenyamanan dan kesejahteraan penghuni. Model ini mungkin didasarkan pada keyakinan bahwa menciptakan lingkungan yang nyaman termal memiliki dampak positif pada kesejahteraan manusia, dan dapat mencakup nilai-nilai estetika dan keindahan lingkungan. Pemilihan dan penataan elemen air dan vegetasi dipandu oleh keinginan untuk menciptakan lingkungan yang indah dan sesuai dengan nilai-nilai estetika setempat.
- c. Model ini dapat dilihat sebagai instrumen untuk mendukung nilai-nilai pendidikan dan kesadaran lingkungan. Penerapan elemen air dan vegetasi dapat menjadi cara untuk mengajarkan dan meningkatkan pemahaman masyarakat tentang pentingnya kenyamanan termal dan keberlanjutan lingkungan.

7.7. Triangulasi dan Validasi Penelitian

Tahapan uji triangulasi dan validasi dilakukan untuk menguji alat kontrol dan program yang di gunakan. Adapun Triangulasi yang di gunakan adalah triangulasi metode dengan menggunakan pemaduan analisis numerik dan pemodelan simulasi untuk memperoleh pemahaman mendalam tentang dampak elemen air dan vegetasi terhadap lingkungan termal dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab. Variabel yang akan diuji adalah respon alat dalam monitoring hasil suhu dan kelembaban relatif udara, suhu radiasi, serta kecepatan angin terhadap masing-masing kondisi indeks PMV, PPD, dan TSV. Uji validitas adalah suatu alat yang menunjukkan seberapa jauh suatu instrumen memiliki ketepatan dan kecermatan dalam melakukan fungsi ukurnya. Azwar dalam bukunya mengatakan bahwa skala yang disusun berdasarkan kawasan ukur yang teridentifikasi dengan baik dan dengan batasan yang jelas secara teoritik akan valid, baik dari cakupan isi, sejak awal pengembangan skala, relevansi sistem dengan tujuan sebenarnya sudah dapat dievaluasi sehingga mampu dinilai apakah isi skala layak (Azwar. 2010).

Da penelitian ini uji validasi di gunakan validitas konstruk yaitu variabel ukur dalam penelitian ini instrumen pengukuran seperti kuesioner atau



skala pengukuran ASHRAE 55 2020 yang digunakan untuk mengukur persepsi atau preferensi penghuni terkait kenyamanan termal dan pengaruh elemen air dan vegetasi. Uji instrumen untuk memastikan konsistensi dan keakuratan berdasarkan variabel pengukuran dilakukan dengan menggunakan software *Center Built Environment* (CBE) dan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

7.8. Temuan Empirik

Penelitian tentang analisis lingkungan dan kenyamanan termal, pergerakan udara, pengaruh air dan vegetasi, serta model lingkungan termal sebagai pengubah iklim mikro di iklim tropis panas dan lembab menghasilkan beberapa temuan empirik yang menarik. Berikut adalah beberapa temuan sebagai berikut:

1. Pengaruh Pergerakan Udara dan Ventilasi

Penelitian telah menunjukkan bahwa pergerakan udara dan ventilasi berperan penting dalam menciptakan kenyamanan termal di iklim tropis panas dan lembab. Angin yang bergerak dapat membantu mengurangi suhu subjektif yang dirasakan oleh manusia, memberikan efek pendinginan dan mengurangi kelembaban.

2. Efek Suhu Permukaan dan Bangunan: Permukaan tanah dan bangunan di area perkotaan dapat menjadi sumber panas yang signifikan, menciptakan efek "heat island." Penggunaan material dan warna yang tepat pada bangunan dapat membantu mengurangi pemanasan berlebih dan mengurangi suhu lingkungan.

3. Pengaruh Air Terhadap Kenyamanan Termal: Elemen air seperti kolam, sungai, dan danau memiliki peran penting dalam menciptakan kenyamanan termal. Evaporasi air menyebabkan pendinginan di sekitar area tersebut, menciptakan lingkungan yang lebih sejuk dan nyaman bagi manusia.

4. Dampak Vegetasi Terhadap Kenyamanan Termal: Vegetasi yang tepat dan cukup di area perkotaan maupun lingkungan mikro membantu menciptakan lingkungan yang lebih nyaman secara termal. Pepohonan dan taman yang rimbun dapat memberikan bayangan yang efektif, mengurangi efek pemanasan, dan menyerap panas.

Model Lingkungan Termal: Penggunaan model lingkungan termal seperti simulasi komputer telah membantu dalam merancang dan memahami perubahan iklim mikro di iklim tropis panas dan lembab. Model ini dapat



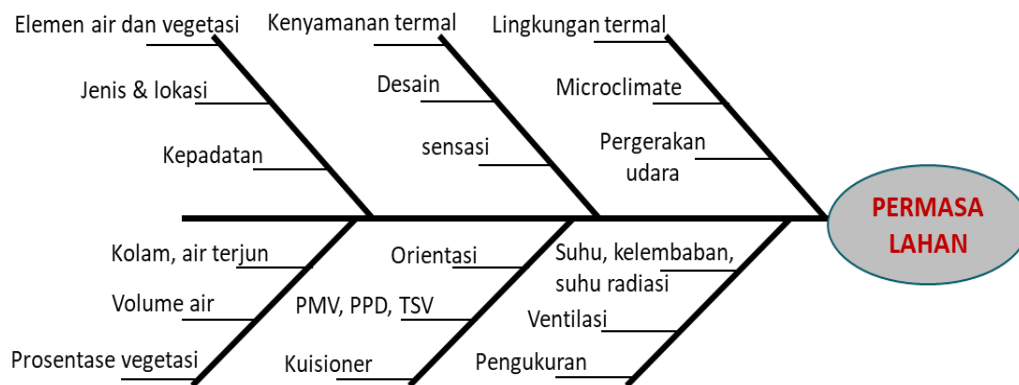
memberikan informasi tentang bagaimana berbagai variabel, seperti penutupan tanah, vegetasi, dan sirkulasi udara, berinteraksi dan mempengaruhi kenyamanan termal.

6. Keberagaman Mikroiklim: Temuan empirik menunjukkan bahwa iklim mikro dapat sangat bervariasi di area yang berbeda, terutama di perkotaan. Penutupan tanah, kepadatan bangunan, dan jumlah vegetasi merupakan faktor yang dapat menyebabkan perbedaan besar dalam suhu dan kenyamanan termal.
7. Penerapan Strategi Adaptasi: Lingkungan termal dengan peningkatan elemen air, dan vegetasi dapat menjadi pengubah iklim mikro dalam bangunan. Model dibuat dengan menambah luasan ventilasi, pengaturan vegetasi, dan fitur air yang bergerak sehingga didapatkan nilai PMV+0.23, PPD+8%, TSV-1 - +0, T_a 25.7°C, dan kelembaban relatif 63.5 - 66%. Hasil evaluasi menunjukkan suhu operasi dapat menganalisis rentang suhu nyaman pengunjung sebesar >80%.

Hal-hal yang di kaji dalam penelitian ini di dasarkan pada analisis lingkungan termal dengan elemen air dan vegetasi sebagai modifier iklim mikro dalam bangunan yang menekankan bahwa kenyamanan lingkungan termal merupakan hubungan yang kompleks dan aktif antara manusia dan sekitarnya yang salah satu faktornya adalah iklim. Kenyamanan lingkungan termal dilandasi prinsip bahwa kondisi termal di luar bangunan berpengaruh terhadap kondisi termal dalam bangunan dan manusia memiliki kemampuan berinteraksi dan beradaptasi dengan beragam kondisi termal. Adapun model standar pengukuran yang di gunakan adalah acuan dalam standarisasi ASHRAE 55-2010 dan ISO 7730 sebagai model kenyamanan lingkungan termal.

Berdasarkan uraian tersebut *maka state of art* dari penelitian ini ditunjukkan pada diagram fishbone sebagai pernyataan dalam melihat sebab dan pengaruh (*cause and effect*) atas sebuah penelitian yang berawal dari pernyataan masalah yang ditetapkan.





Gambar 91. Diagram *fishbone*

Dalam konteks penelitian lingkungan termal, diagram fishbone dapat membantu dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang relevan yang berkontribusi pada iklim mikro di bangunan di iklim tropis panas dan lembab. Berikut adalah contoh kategori faktor penyebab yang dapat dianalisis lebih lanjut:

- Faktor Eksternal:
 - a. Iklim Regional (suhu udara, kelembaban, curah hujan, dan intensitas sinar matahari)
 - b. Pola Angin (kecepatan dan arah angin)
- Faktor Bangunan:
 - a. Desain Arsitektur (orientasi bangunan, bentuk, dan tata letak)
 - b. Material Bangunan (pilihan material, reflektansi sinar matahari)
 - c. Penutupan Tanah (paving, tanaman, dan penyerapan air)
- Elemen Air:
 - a. Jenis dan Lokasi Elemen Air (kolam, air mancur, air terjun)
 - b. Kepadatan Air (volume dan luas permukaan air)
 - c. Pengaruh Evaporasi (kecepatan dan efisiensi evaporasi)
- Elemen Vegetasi:
 - a. Jenis Tanaman (pohon, semak, tanaman penutup tanah)
 - b. Daerah Penutupan Vegetasi (tingkat penghijauan dan distribusi tanaman)
 - c. Pengaruh Transpirasi (tingkat pengeluaran air oleh tanaman)

Pengukuran lingkungan termal sesuai dengan suhu, kelembaban, suhu dan kecepatan angin, serta kenyamanan termal berdasarkan nilai PMV, SET.



Atas *state of art* dari penelitian ini yang telah diaktualisasikan sesuai hasil penelitian dan pembahasan, maka keilmiahan penelitian ini dapat diperbandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya seperti terlihat pada roadmap penelitian di bawah ini:

Tabel 45. Roadmap Penelitian

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	
	Peneliti	Judul	Hasil Penelitian Terdahulu	Hasil Penelitian Disertasi in
1	Kunming Li, Huajing Zhang & Lihua Zhao Tahun 2021	Intervensi kenyamanan termal pada lanskap di area perumahan yang lembab dan subtropis di Cina	Studi ini menyimpulkan bahwa pohon berdaun lebar dan tanah yang permeabel lebih kondusif untuk meningkatkan kenyamanan termal luar ruangan selama musim yang berbeda di daerah yang panas dan lembab. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di musim panas, total area yang dapat diterima meningkat secara signifikan sebesar 38,5%, dan di musim dingin, total area yang dapat diterima sedikit berkurang sebesar 8,4%.	Prosentase vegetasi yang ditingkatkan sebesar 10% dalam bangunan dapat meningkatkan kelembaban dan menurunkan suhu ruangan sebesar 24,9°C. Terjadi penurunan temperature sebesar 8°C dari kondisi pengukuran eksisting. Kondisi lokasi berada pada daerah tropis panas dan lembab.
2	Arieka Fathi Kinanti Putri, Edi Pramono Singgih, Gunawan Tahun 2019	Konservasi Energi dan Air Pada Fasilitas Olahraga Indoor Dengan pendekatan Arsitektur Hijau di Kota Depok Jawa Barat	Penerapan prinsip arsitektur hijau pada objek rancang sebagai usaha Konservasi energi yang dilakukan melalui penghijauan, penggunaan teknologi untuk menyimpan energi dan memaksimalkan penggunaan energi alami.	Penelitian ini dapat melibatkan analisis mikroiklim di sekitar bangunan dengan elemen air dan vegetasi. Hal ini mencakup pengukuran suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan intensitas radiasi di area dengan elemen air dan vegetasi. Tujuannya adalah untuk memahami perubahan mikroiklim yang dihasilkan dan dampaknya terhadap kenyamanan termal.
3	I Wayan Wirya Sastrawan, I Gede Surya Darmawan. Tahun 2018	Simulasi kenyamanan termal model rekomendasi Taman air berarsitektur tradisional bali Pada taman kota i gusti ngurah made agung Di denpasar	Kenyamanan termal pada model rekomendasai sepanjang hari di dominasi oleh kondisi Nyaman/Netral. Dalam simulasi juga menunjukan sebaran tingkat temperatur rendah berada disekitar areal kolam. Ini mengindikasikan bahwa penyejukan evaporasi oleh air berdampak signifikan pada penurunan temperature udara. Hasil tersebut sejalan dengan Snyder dan Catanase (1989) yang menyatakan bahwa permukaan air dapat menyerap panas, menyimpannya, dan memancarkannya kembali ke atmosfer dalam satu periode dan proses ini berlangsung untuk menyamakan perbedaan suhu harian di tapak-tapak yang bersebelahan.	Penggunaan elemen air seperti kolam, air mancur, atau semprotan air dapat memberikan efek pendinginan pada lingkungan sekitar bangunan. Air dapat menguap dan mengambil panas dari sekitarnya, sehingga menurunkan suhu udara di sekitar bangunan. Penelitian ini mengeksplorasi ukuran kolam, vegetasi, dan sistem sirkulasi angin yang tepat untuk mencapai efek pendinginan yang diinginkan.
		Kenyamanan Termal pada Taman Air Berarsitektur Tradisional Bali	1. Kondisi temperatur terendah yang hampir merata diareal obyek penelitian. Ini disebabkan karena hampir sebagian besar areal site ditutupi oleh air.	Hasil penelitian dalam disertasi ini bahwa untuk mencapai kenyamanan dan lingkungan termal yang optimal dalam bangunan di iklim tropis panas



<p>dan Ni Wayan Meidayanti Mustika Tahun 2018</p>	<p>(Studi Kasus: Tirta Gangga)</p>	<p>2. Simulasi menunjukkan peran keberadaan kolam air dapat menurunkan temperatur, akibat dari penguapan air yang berdampak bertambahnya kelembaban udara dan dihembuskan oleh angin kesekitar areal kolam.</p> <p>3. Keberadaan kolam air di tengah site obyek penelitian tidak memberikan dampak banyak terhadap penurunan temperatur udara terutama disisi kolam yang berlawanan dengan arah datangnya angin, dan juga yang berada disisi tegak lurus dengan arah datangnya angin.</p> <p>4. Temperatur udara lebih rendah di areal permukaan site yang ditutupi rumput dibandingkan dengan materiel perkerasan seperti beton, paving, batu alam, dan pasangan batu sikat.</p> <p>5. Jenis vegetasi yang memiliki tajuk yang rindang (mangga, beringin, bambu) dan dengan jarak yang rapat dapat menghalangi dan merubah alur angin.</p> <p>6. Vegetasi dengan tajuk yang rindang juga dapat menambah kelembaban udara namun tidak berdampak pada penurunan temperature karena kurang mendapat hembusan angin.</p> <p>7. Vegetasi dengan tajuk yang rindang mampu menaungi permukaan site yang tertutup material perkerasan dari terpaan sinar matahari yang dapat meningkatkan temperatur.</p>	<p>dan lembab, diperlukan kombinasi dari sistem pendingin udara yang efisien, ventilasi alami yang baik, pencahayaan alami yang memadai, pemilihan material yang tepat, integrasi elemen air, vegetasi dan pertimbangan terhadap faktor kenyamanan Pengunjung maupun penghuni didalam ruangan. Pengukuran preferensi kenyamanan termal berdasarkan hasil kuisisioner dan di ukur berdasarkan pada nilai PMV, PPD, dan TSV. Dalam penelitian ini juga dasar untuk menentukan suhu nyaman berdasarkan standard ASHRAE 55 2020.</p>
<p>5 Johannes Adiyanto Tahun 2017</p>	<p>Arsitektur dan Air (Kasus: Kota Palembang)</p>	<p>Beban 'tanah' di pusat Palembang sangatlah berat, sedangkan 'air' hanya menjadi sisa masa kejayaan Kerajaan Sriwijaya dan Kasultanan Palembang Darussalam. Palembang masa kini bukan lagi kota 'air' tapi menjadi kota hipermodern yang berorientasi ke darat.</p>	<p>Dalam Penelitian ini juga mendorong penelitian tentang adaptasi perubahan iklim, terutama dalam merespons pemanasan global dan peningkatan suhu rata-rata. Pendekatan perancangan berbasis lingkungan termal dapat membantu mengurangi dampak negatif dari perubahan iklim di daerah iklim tropis panas dan lembab.</p>
<p>6 Dyah Hendrawati Tahun 2016</p>	<p>Air Sebagai Alat Pengendali Iklim Mikro Dalam Bangunan Studi Kasus: Taman Sari Royal Heritage Spa, Hotel</p>	<p>Volume air menjadi faktor yang sangat penting untuk mengendalikan iklim mikro dalam ruang. Dapat dilihat pada hasil Analisa bahwa kondisi termal ruang saat kolam berisi air penuh dan kolam berisi air setengahnya saat luas permukaan sama adalah berbeda. Jarak juga menjadi faktor penentu bagi berhasilnya air sebagai pengendali</p>	<p>Dalam penelitian ini tidak memodelkan kondisi air pada kolam saat penuh dan kosong, tapi bagaimana elemen tersebut mempengaruhi lingkungan termal pada area sekitarnya dalam bangunan. Hasil penelitian ini yaitu melakukan pemodelan atau variasi dimensi kolam untuk</p>



	Sheraton Mustika Yogyakarta		iklim mikro ruang. Ruang yang dekat dengan sumber air akan lebih nyaman secara termal dibandingkan dengan ruangan yang jauh dari air. Ruang yang dekat dengan air juga mempunyai kecenderungan penurunan kelembaban dan kenaikan suhu yang lebih besar daripada ruang yang jauh dari air.	mendapatkan prediksi lingkungan dan kenyamanan termal sesuai standard ASHRAE 55 2020.
7	Elizabeth Putri Stevani Hedy C. Indrani Purnama E. D. Tedjokoesomo Tahun 2016	Studi Kualitas Udara Dalam Ruang (Indoor Air Quality) ada Ruang Kelas Sekolah Bangunan Cagar Budaya di Surabaya	Ruang kelas bangunan cagar budaya di Surabaya sebaiknya menggunakan penghawaan buatan berupa AC/kipas angin, dikarenakan suhu kota Surabaya berkisar antara 26 – 34 C dengan kelembaban 58 – 90%, dengan suhu dan kelembaban yang tinggi ini pengguna akan merasakan gangguan kesehatan seperti lemas dan pusing yang akan mengganggu produktivitas pengguna.	Penelitian ini menyimpulkan bahwa pergerakan udara di lingkungan termal bangunan dan ventilasi berperan penting dalam menciptakan kenyamanan termal di iklim tropis panas dan lembab. Angin yang bergerak dapat membantu mengurangi suhu subjektif yang dirasakan oleh manusia, memberikan efek pendinginan dan mengurangi kelembaban.
8	Eddy Imam Santoso Tahun 2012	Kenyamanan Termal Indoor Pada Bangunan di Daerah Beriklim Tropis Lembab	Pada bangunan-bangunan di daerah dengan iklim tropis lembab banyak mengalami kesulitan untuk memenuhi standar yang disyaratkan sesuai zona kenyamanan ASHRAE 55. Hal ini disebabkan karena variabel yang mempengaruhi kenyamanan termal kurang mendukung, diantaranya suhu udara, kelembaban relatif, radiasi sinar matahari dan kecepatan udara dalam ruang. Untuk mencapai kenyamanan termal yang diinginkan perlu dilakukan kontrol atau tindakan adaptif dari penghuni diantaranya dengan mengatur sistim ventilasi, mengatur sirkulasi angin secara mekanik, memberikan tirai pada bagian bangunan yang langsung terkena radiasi matahari bahkan disarankan untuk membuat disain perangkat shading matahari untuk meminimalkan panas radiasi.	Penggunaan kombinasi metode pengumpulan data, seperti observasi langsung, survei kuesioner, dan wawancara, untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang persepsi dan pengalaman penghuni terkait kenyamanan termal dan pengaruh elemen air dan vegetasi. Pemaduan analisis numerik dan pemodelan simulasi untuk memperoleh pemahaman mendalam tentang dampak elemen air dan vegetasi terhadap lingkungan termal dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab. Tindakan adaptif dilakukan pemodelan dengan variabel kolam air, vegetasi, dan ventilasi.
9	Cheng-Li Cheng Tahun 2003	Mengevaluasi langkah-langkah konservasi air untuk Bangunan Hijau di Taiwan	Tingkat penghematan air aktual (WR) untuk proyek Bangunan Hijau harus $\geq 0,8$, dan AR peralatan hemat air harus lebih tinggi dari 0,8. Dengan demikian, proyek-proyek Green Building yang memenuhi syarat harus mencapai tingkat penghematan air lebih dari 20%. Untuk kebijakan yang berkelanjutan, program ini tidak hanya bertujuan untuk menghemat sumber daya air, tetapi juga untuk mengurangi dampak lingkungan di bumi.	
	Air Sebagai Subyek Dalam Desain Arsitektur		Melalui telaah desain istana Alhambra, yang dikenal sebagai locus classicus bagi penggunaan air dalam desain arsitektur, maka kita dapat melakukan	Dalam penelitian disertasi ini membuat Model sebagai langkah dalam pengembangan pengetahuan berkelanjutan



Hendrayani Tahun 2002	Kasus Telaah: Istana Alhambra, Granada	refleksi apakah telah menempatkan air sebagai subyek dalam desain arsitektur, atau hanya sebagai suatu rutinitas saja.	tentang kenyamanan termal dan peran elemen air dan vegetasi dalam konteks iklim mikro tropis.
-----------------------	--	--	---

Atas roadmap di atas, tergambar bahwa dari beberapa penelitian sebelumnya dengan penelitian ini, fokus penelitian secara umum adalah pengaruh elemen air dan vegetasi dalam maupun diluar bangunan. Namun aplikasi dan metode dari penerapan elemen tersebut berbeda-beda sesuai lokasi atau tempat penggunaan elemen air dan vegetasi tersebut. Pada beberapa penelitian terdahulu tidak melakukan pemodelan variabel berdasarkan lingkungan termal yang diteliti.

7.9. Kebaruan Penelitian

Kebaruan penelitian atau *novelty* merujuk pada kontribusi baru yang dibawa oleh sebuah penelitian dalam konteks ilmiah. Penelitian yang inovatif dan memiliki kebaruan dianggap berharga karena memberikan pemahaman baru, mengisi kesenjangan pengetahuan yang ada, atau mengajukan pendekatan baru dalam memecahkan masalah yang ada.

Pendekatan yang berbasis penggunaan elemen air dan vegetasi untuk menganalisis lingkungan termal dan sensasi termal manusia tidak umum di Indonesia. Sebagian besar studi tentang kenyamanan dan sensasi termal di Indonesia didasarkan pada parameter iklim dan personal. Suhu operasi yang merupakan kombinasi dari suhu udara dan suhu radiasi umumnya digunakan untuk menilai sensasi termal responden.

Kebaruan dalam penelitian ini adalah Model Lingkungan Termal pada Ruang Semi Outdoor Dengan Elemen Air dan Vegetasi Sebagai Pengubah Iklim Mikro di Iklim Tropis Panas dan Lembab.

Model lingkungan dan kenyamanan termal digunakan untuk memprediksi dan memahami kondisi termal di dalam bangunan. Dalam iklim mikro tropis yang panas dan lembab, simulasi pemodelan membantu dalam merancang sistem ventilasi, pencahayaan alami, dan pengaturan suhu yang optimal. Model ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti sensasi termal, pergerakan udara, dan

lingkungan termal dalam menciptakan kondisi termal yang nyaman dan bergi.



Diketahui bahwa kebaruan suatu penelitian dapat dibedakan atas tiga tipe kebaruan yaitu:

- a. Invention yaitu kebaruan tipe-1, di mana penelitian harus bersifat menemukan sesuatu dalam artian merubah prinsip dasar yang sudah ada sebelumnya.
- b. Improvement yaitu kebaruan tipe-2, penelitian yang sifatnya berupa peningkatan dari prinsip yang sebelumnya atau bersifat perbaikan dari teori/praktek yang sudah ada sebelumnya.
- c. Refutation yaitu kebaruan tipe-3, di mana seorang peneliti harus memiliki wawasan komprehensif sebagai landasan untuk menghasilkan sebuah prinsip dasar yang baru.

Dari ketiga tipe kebaruan di atas, maka dalam penelitian ini menghasilkan kebaruan berdasarkan tipe *improvement*, yang artinya bahwa kebaruan yang dihasilkan adalah perbaikan atau peningkatan dari penerapan lingkungan dan kenyamanan termal dengan elemen air dan vegetasi sebagai modifier iklim mikro pada ruang semi outdoor. Perbaikan atau peningkatan tersebut peneliti lakukan melalui simulasi pemodelan lingkungan termal berdasarkan pada variabel volume air, prosentase vegetasi, dan ukuran ventilasi pada ruang semi outdoor bangunan komersial untuk mengetahui suhu, temperature, dan pergerakan udara yang dihasilkan setelah melakukan modifikasi dan dibuktikan dengan persamaan regresi dalam melihat hubungan dan pengaruhnya berdasarkan nilai koefisien korelasi dan determinan antara 70% - 100%.

Selain itu kebaruan penelitian ini sudah dilakukan pendiagnosaan sebab dan pengaruh (*causa and effect*) sesuai diagram fishbone berdasarkan permasalahan, metode, manajemen, manusia, pengukuran dan pemodelan secara terstruktur, yang belum pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Ada 10 (sepuluh) penelitian yang menjadi rujukan yang meneliti hal yang sama tentang pengaruh elemen air dan vegetasi pada bangunan, namun tidak satupun yang melakukan pemodelan simulasi elemen air dan vegetasi berdasarkan lingkungan termal semi outdoor sebagaimana terangkum dalam *state of the art* penelitian ini.

berdasarkan pada penjelasan tersebut diatas dan posisi riset maka kebaruan penelitian ini yaitu “Keberadaan elemen air dan vegetasi diruang semi outdoor untuk meningkatkan kenyamanan termal dan memprediksi lingkungan termal.



Temuan ini menunjukkan variasi pemodelan elemen arsitektur bangunan terhadap lingkungan fisik mempunyai dampak langsung terhadap kenyamanan termal dan secara potensial mengurangi konsumsi energi bangunan.

Tabel 46. Tujuan dan temuan riset

No	Tujuan Riset	Temuan Riset
1	Untuk mengetahui makna dasar teori tentang lingkungan termal dan kenyamanan termal dalam bangunan yang menjadi dasar dalam penelitian ini sehingga perlu diadakan review literatur penelitian-penelitian sebelumnya.	<p>Terdapat gap metodologi, dimana mayoritas peneliti sebelumnya menggunakan metode kuantitatif tanpa menggunakan simulasi untuk menginvestigasi tingkat kenyamanan termal.</p> <p>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 illuminasi, 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.</p> <p>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 (<i>indoor environmental quality</i> (IEQ) pada iklim mikro di iklim tropis panas dan lembab.</p>
2	Untuk menganalisis seberapa besar nilai suhu/temperatur dan kelembaban udara relatif dengan keberadaan elemen air sebagai modifier iklim mikro dalam bangunan.	<p>Penelitian ini menunjukkan bahwa pada jarak dan waktu pengukuran suhu, suhu radiasi, kelembaban, dan kecepatan angin sangat berpengaruh dalam mengendalikan iklim mikro dalam ruang. Ruang yang dekat dengan elemen air dan lansekap akan lebih nyaman secara termal dibandingkan dengan ruangan yang jauh dari air dan lansekap.</p> <p>analisis lingkungan termal dalam konteks iklim mikro dalam bangunan, kenyamanan termal serta elemen air dan lansekap merupakan pengkondisian lingkungan dengan model modifikasi udara luar yang panas masuk kedalam bangunan.</p>
3	Untuk menganalisis sistem pergerakan udara yang berpengaruh terhadap keberadaan elemen air sebagai modifier iklim mikro dalam bangunan	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor lingkungan, terutama kecepatan aliran udara di dalam ruangan dengan ventilasi alami memiliki pengaruh yang signifikan pada kenyamanan termal responden. Evaluasi perbandingan terhadap keberadaan elemen air dan vegetasi berdasarkan hasil simulasi termal didapatkan penurunan termal pada Mal Nipah 5.2°C dan kelembaban 6% sementara pada Maxone hotel penurunan termal suhu 1.2°C dan kelembaban 2%.</p>
4	Untuk membuat model simulasi lingkungan termal dalam bangunan dengan elemen air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro. Simulasi ini untuk faktor lingkungan kenyamanan termal di a dalam bangunan diperlukan analisis	<p>Model dibuat dengan menambah luasan ventilasi, pengaturan vegetasi, dan fitur air yang bergerak sehingga didapatkan nilai PMV+0.23, PPD+8%, TSV-1 - +0, Ta_25.7°C, dan kelembaban relatif 63.5 - 66%. Hasil evaluasi menunjukkan suhu operasi dapat menganalisis rentang suhu nyaman pengunjung sebesar >80% dan sesuai dengan standard ASHRAE 55-2020.</p>



8.0. Rekomendasi dan Implementasi dalam Perancangan

Rekomendasi model lingkungan termal untuk ruang semi outdoor dengan elemen air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro di iklim tropis panas dan lembab dapat mencakup beberapa aspek penting.

- a. Analisis Iklim: memahami pola suhu, kelembapan, dan arus udara di lokasi yang bersangkutan. Data iklim historis dapat memberikan pandangan yang lebih baik tentang variabilitas iklim.
- b. Identifikasi Zona Mikro: Tentukan zona mikroklimat di area semi outdoor yang ingin diubah. Identifikasi area-area yang menerima sinar matahari langsung, yang mungkin memerlukan perlindungan tambahan atau peningkatan ventilasi.
- c. Seleksi dan Penempatan Vegetasi: Pilih tanaman yang sesuai untuk iklim tropis panas dan lembab, seperti tanaman tropis yang tahan panas dan membutuhkan sedikit perawatan. Tempatkan tanaman di area yang dapat memberikan bayangan efektif.
- d. Desain Elemen Air: Rancang elemen air seperti kolam, air mancur, atau semprotan air. Tentukan lokasi yang strategis untuk menciptakan efek pendinginan dan mengintegrasikannya dengan elemen vegetasi.
- e. Pemodelan Mikroklimat: Gunakan perangkat lunak pemodelan mikroklimat untuk memprediksi efek dari elemen air dan vegetasi terhadap kondisi termal di ruang semi outdoor. Simulasikan berbagai skenario untuk memahami potensi dampaknya.
- f. Penempatan Berdasarkan Arah Angin: Perhatikan arah angin dominan dan tempatkan elemen air dan vegetasi secara strategis agar dapat memanfaatkan sirkulasi udara alami. Ini membantu dalam mendistribusikan efek pendinginan secara merata.
- g. Sistem Irigasi yang Efisien: Rancang sistem irigasi yang efisien untuk tanaman dan elemen air. Pastikan air digunakan dengan bijaksana dan sesuai dengan kebutuhan tanaman.
- h. Perencanaan Permukaan yang Adaptif: Pertimbangkan pemilihan material

Permukaan yang dapat meminimalkan penyerapan panas dan menciptakan permukaan yang nyaman untuk pengguna.



- i. **Pertimbangan Drainase:** Pastikan sistem drainase yang baik untuk mengelola air sisa dan mencegah genangan yang dapat menjadi masalah keamanan dan kesehatan.
- j. **Pengaturan Pencahayaan:** Integrasikan pencahayaan buatan dengan bijaksana, memastikan bahwa pencahayaan pada malam hari tetap mempertahankan atmosfer yang nyaman.
- k. **Edukasi Pengguna:** Sosialisasikan kepada pengguna cara optimal memanfaatkan ruang semi outdoor dengan elemen air dan vegetasi. Berikan petunjuk dan informasi mengenai perawatan dan keamanan.
- l. **Evaluasi dan Pemeliharaan Rutin:** Lakukan evaluasi berkala terhadap kinerja model. Perhatikan perubahan kondisi termal seiring waktu dan lakukan perbaikan atau penyesuaian jika diperlukan.
- m. **Berpartisipasi dengan Profesional:** Melibatkan arsitek lansekap, insinyur lingkungan, dan ahli terkait lainnya dalam merancang dan melaksanakan model. Kolaborasi ini dapat memastikan pendekatan yang holistik dan efektif.
- n. **Keberlanjutan:** Fokus pada keberlanjutan dengan memilih tanaman yang ramah lingkungan, menggunakan air dengan efisien, dan memilih material yang memiliki dampak lingkungan minimal.

Implementasi konsep lingkungan termal di ruang semi outdoor dengan elemen air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro dalam perancangan arsitektur melibatkan serangkaian langkah yang terintegrasi dan holistik. Berikut adalah langkah-langkah implementasi yang dapat Anda pertimbangkan:

1. Studi Lingkungan dan Iklim:

- Lakukan studi menyeluruh tentang kondisi lingkungan dan iklim di lokasi proyek. Pahami pola sinar matahari, arah angin dominan, suhu udara, dan kelembapan.

2. Identifikasi Potensi Lingkungan Termal:

- Tentukan area semi outdoor yang potensial untuk ditingkatkan kondisi termalnya. Identifikasi lokasi yang mungkin membutuhkan perlindungan dari

matahari langsung atau pendinginan tambahan.

an dan Penempatan Vegetasi:



- Pilih tanaman yang sesuai dengan iklim tropis panas dan lembab. Pertimbangkan faktor-faktor seperti tumbuhan yang tahan terhadap suhu tinggi dan memerlukan sedikit perawatan. Tempatkan tanaman tersebut di area yang dapat memberikan bayangan dan mengurangi suhu udara.

4. Desain Elemen Air:

- Rancang elemen air seperti kolam, air mancur, atau aliran air kecil untuk menciptakan efek pendinginan dan meningkatkan kenyamanan termal. Pastikan elemen air ini terintegrasi dengan desain keseluruhan dan memiliki aliran air yang baik.

5. Integrasi dengan Desain Arsitektur:

- Integrasikan elemen air dan vegetasi ke dalam desain arsitektur secara organik. Pastikan elemen tersebut menyatu dengan desain bangunan, memperkuat estetika keseluruhan, dan meningkatkan fungsi ruang semi outdoor.

6. Pemodelan dan Simulasi:

- Gunakan perangkat lunak pemodelan untuk memprediksi dampak dari elemen air dan vegetasi terhadap lingkungan termal di area semi outdoor. Simulasikan berbagai skenario untuk memilih yang paling efektif.

7. Pertimbangkan Efisiensi Air:

- Rancang sistem irigasi yang efisien untuk tanaman dan elemen air. Pastikan penggunaan air yang bijaksana dan sesuai dengan kebutuhan tanaman.

8. Pengaturan Pencahayaan:

- Pertimbangkan efek pencahayaan pada area tersebut. Pastikan pencahayaan alami dan buatan terintegrasi dengan baik, dan memberikan atmosfer yang nyaman di malam hari.

9. Pemantauan dan Perawatan:

- Pasang sensor untuk memantau suhu, kelembapan, dan kualitas udara di area semi outdoor. Lakukan pemeliharaan rutin untuk memastikan bahwa tanaman dan sistem air tetap berfungsi dengan baik.



si Pengguna:

- Sosialisasikan kepada pengguna cara menggunakan dan merawat area semi outdoor dengan bijaksana. Berikan informasi tentang manfaat dari elemen air dan vegetasi serta cara menjaga keberlanjutan lingkungan.

11. Evaluasi dan Perbaiki:

- Lakukan evaluasi berkala terhadap kondisi termal dan kinerja keseluruhan area semi outdoor. Lakukan perubahan atau penyesuaian jika diperlukan untuk meningkatkan kenyamanan dan efektivitas lingkungan termal.

Dengan mengikuti langkah-langkah ini, Anda dapat mengimplementasikan konsep lingkungan termal secara efektif dalam perancangan arsitektur ruang semi outdoor dengan elemen air dan vegetasi. Kolaborasi dengan tim profesional yang terampil dalam berbagai bidang akan membantu mencapai hasil yang optimal.



BAB VIII

KESIMPULAN UMUM DAN SARAN

8.1. Kesimpulan

Dalam merancang bangunan di iklim tropis panas dan lembab, penting untuk memahami keterkaitan antara kenyamanan dan lingkungan termal, sensasi termal, pergerakan udara, model lingkungan termal, serta pengaruh air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro. Dengan pendekatan yang terintegrasi dan strategi desain yang tepat, dapat menciptakan lingkungan bangunan yang nyaman, sehat, dan efisien energi serta berkelanjutan bagi penghuni di iklim tropis panas dan lembab.

Kesimpulan umum mengenai hubungan antara kenyamanan dan lingkungan termal, sensasi termal, pergerakan udara, dan model lingkungan termal dalam bangunan di iklim mikro tropis panas dan lembab adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mencapai kenyamanan dan lingkungan termal yang optimal dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab, diperlukan kombinasi dari sistem pendingin udara yang efisien, ventilasi alami yang baik, pencahayaan alami yang memadai, pemilihan material yang tepat, integrasi elemen hijau, dan pertimbangan terhadap faktor budaya dan preferensi penghuni.
- b. Nilai keterterimaan termal PMV, PPD, dan SET berdasarkan *thermal comfort tools* (CBE) ASHRAE Standard 55 – 2020 pada obyek penelitian terdapat kondisi yang dapat diterima sebagai kondisi yang nyaman yakni nilai PMV berkisar antara -0,5 sampai dengan +0,5. Dalam persamaan regresi linear terhadap responden memperlihatkan bahwa suhu nyaman/netral = 0, di mana responden merasa nyaman di capai pada angka 28.6°C suhu/temperature udara (T_a) dengan rentang suhu nyaman responden antara -1 dan 0, sehingga batas di mana responden merasa sangat nyaman (batas bawah) pada angka 26.4°C suhu udara dan batas atas pada angka 30.8°C suhu udara.



simulasi pergerakan udara pada Mal Nipah terbesar berada pada bukaan terbesar 2,98 m/s kemudian bukaan pada sisi Utara sebesar 1.14 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa area yang lebih sejuk berada pada bagian tengah area kolam

dan air terjun sementara pada Maxone hotel pergerakan udara terbesar berada ada sisi atas (void) sebesar 2.63 m/s dan pada bukaan sisi Barat sebesar 0.98 m/s, hasil simulasi menunjukkan kolam renang pada area tersebut tidak berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengunjung. Hal ini di sebabkan karena pergerakan udara pada area tersebut kurang baik karena posisi inlet dan outlet tidak seimbang.

- d. Model lingkungan termal dalam bangunan merupakan alat yang berguna untuk memprediksi dan merancang kondisi termal yang optimal. Berdasarkan hasil pemodelan simulasi lingkungan termal kemudian di bandingkan dengan standard ASHRAE 55 2020 untuk menemukan model prediksi termal pada kedua obyek penelitian di dapatkan hasil batas penerimaan termal untuk suhu operasi sebesar 25.7 hingga 32,7°C sehingga dikategorikan dalam kondisi nyaman.

Kesimpulan khusus mengenai hubungannya dengan pengaruh air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab adalah sebagai berikut:

- a. Pengaruh air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro dapat memberikan efek positif dalam menciptakan iklim mikro yang nyaman di iklim tropis panas dan lembab. Penggunaan elemen air seperti kolam, air terjun, atau sistem pendingin evaporatif dapat memberikan efek pendinginan dan meningkatkan kelembaban di sekitar bangunan. Penggunaan vegetasi seperti tanaman dan pepohonan dapat memberikan bayangan dan membantu menurunkan suhu lingkungan.
- b. Pertimbangan faktor-faktor seperti ukuran lahan, keberlanjutan sumber daya air, dan pemeliharaan yang tepat dalam merencanakan dan mengintegrasikan elemen air dan elemen vegetasi dalam lingkungan mikro bangunan. Keberadaan elemen ini harus dirancang dengan mempertimbangkan kondisi iklim, tata letak bangunan, dan dampak keseluruhan terhadap lingkungan sekitarnya.

manaan elemen air dan vegetasi dalam desain lingkungan mikro dapat meningkatkan kenyamanan termal, mengurangi konsumsi energi,



meningkatkan estetika, dan memberikan manfaat bagi penghuni bangunan serta lingkungan sekitarnya.

Dalam kesimpulannya, penggunaan elemen air dalam desain bangunan di iklim tropis panas dan lembab dapat memberikan manfaat signifikan dalam menciptakan kenyamanan termal. Elemen air dapat berperan sebagai pendingin alami, meningkatkan kelembaban udara, mengurangi efek panas perkotaan, serta memberikan manfaat estetika dan psikologis. Namun, perencanaan yang tepat dan pemeliharaan yang baik juga diperlukan untuk memastikan elemen air berfungsi secara efektif dan tidak menyebabkan masalah kelembaban yang tidak diinginkan.

8.2. Saran-Saran

Guna memperluas wawasan bagi kajian studi terkait antara kenyamanan dan lingkungan termal, sensasi termal, pergerakan udara, model lingkungan termal, serta pengaruh air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab maka saran-saran sebagai berikut perlu untuk dipertimbangkan.

- a. Untuk memastikan pergerakan udara yang baik di dalam bangunan. Pertimbangan penggunaan ventilasi silang, penyejuk alami, atau desain jendela yang memungkinkan aliran udara yang optimal.
- b. Elemen air seperti kolam, air terjun, atau sistem pendingin *evaporatif* dengan bijaksana. Pertimbangan lokasi dan ukuran yang tepat, serta penggunaan teknologi yang efisien untuk memaksimalkan efek pendinginan dan mengurangi konsumsi air.
- c. Jenis tanaman dan vegetasi yang cocok dengan iklim tropis panas dan lembab. Pertimbangan faktor-faktor seperti tahan terhadap suhu tinggi, toleransi terhadap kelembaban, dan kemampuan untuk memberikan bayangan.
- d. Integrasi yang baik antara pergerakan udara, penggunaan air, vegetasi, dan model lingkungan termal dalam desain bangunan. Misalnya, mengatur penempatan vegetasi untuk memaksimalkan bayangan dan aliran udara, atau

gunakan elemen air untuk memberikan efek pendinginan pada area itu.



- e. Evaluasi terhadap strategi yang diimplementasikan. Pengukuran lapangan dan pemantauan untuk memverifikasi kinerja sistem ventilasi, efek pendinginan dari air dan vegetasi, serta kondisi termal di dalam bangunan. Evaluasi ini akan memberikan umpan balik yang berharga untuk memperbaiki dan mengoptimalkan solusi desain yang diimplementasikan.
- f. Pengujian lapangan dan validasi terhadap model dan strategi yang dikembangkan. Dengan melakukan pengukuran dan pemantauan langsung, akan memperkuat kehandalan temuan penelitian dan memberikan bukti empiris tentang efektivitas solusi desain yang diusulkan.
- g. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menganalisis pengaruh aspek desain arsitektur, seperti bentuk bangunan, orientasi, ukuran jendela, dan penempatan elemen arsitektur lainnya terhadap kenyamanan termal di iklim tropis panas dan lembab. Penggunaan bahan bangunan yang sesuai, penggunaan teknologi cerdas untuk pengendalian iklim mikro, dan pengaruh adaptasi perubahan iklim dalam merespons pemanasan global dan peningkatan suhu rata-rata.

Dengan menerapkan saran-saran di atas, diharapkan dapat menciptakan bangunan yang lebih nyaman dan berkelanjutan dalam iklim tropis panas dan lembab. Integrasi yang baik antara kenyamanan dan lingkungan termal, sensasi termal, pergerakan udara, model lingkungan termal, serta pengaruh air dan vegetasi akan memberikan manfaat yang signifikan dalam menciptakan iklim mikro yang optimal di dalam bangunan.



DAFTAR PUSTAKA

- SNI 03-6572-2001, S. (2001). Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung. .
- Aflaki, A., K. Hirbodi, N. Mahyuddin, M. Yaghoubi and M. Esfandiari (2019). "Improving the air change rate in high-rise buildings through a transom ventilation panel: A case study." *Building and Environment* 147: 35-49.
- Arjani, I. (2011). "Kualitas udara dalam ruang kerja." *Jurnal Skala Husada* 8(2).
- ASHRAE, A. (2020). Standard 55-2020: "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".
- Aslani, A., A. Bakhtiar and M. H. Akbarzadeh (2019). "Energy-efficiency technologies in the building envelope: Life cycle and adaptation assessment." *Journal of Building Engineering* 21: 55-63.
- Baharuddin, Muhammad Taufik I., Syarif Beddu, & M. Yahya (2012). "Kenyamanan Termal Gedung Kuliah Bersama Kampus Baru Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin " san121212. Ref No: B.4.4
- Binarti, F., H. E. Kusuma, S. Wonorahardjo and S. Triyadi (2018). "Peranan Unsur-Unsur Ruang Terbuka pada Tingkat Kenyamanan Termal Outdoor: Antara Persepsi dan Pengetahuan."
- Chairiyah, R. (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.
- Darwin (2019). *Perbandingan Laju Metabolisme Basal Menurut Status Berat Badan Atlet Karate Kota Makassar*, FIK.
- Devi, E. (2016). "Pola Penataan Ruang Panti Jompo Berdasarkan Aktivitas Dan Perilaku Penghuninya." *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur* 1(1): 31-48.
- Diana Susilowati, F. W. (2014). "Kajian Pengaruh Penerapan Arsitektur Tropis Terhadap kenyamanan Termal Pada Bangunan Publik Menggunakan
- ware Ecotech (Studi kasus: Perpustakaan Universitas Indonesia) " *Jurnal*
- ain Konstruksi 13 Nomor 2(2): 22-34.
- Hebert, Woodward, Robert & Dieter Grau. (2005) "New Waterscapes : Planning, Building, and Designing With Water". Germany: Springer Verlag



- Fardiaz, S. (1992). Polusi air dan udara, Kanisius.
- Gunawan, I. (2016). "Metode Penelitian Kuantitatif." Retrieved June 7: 2017.
- Hendrawati, D. (2016). "Air Sebagai Alat Pengendali Iklim Mikro Dalam Bangunan (Studi Kasus: Taman Sari Royal Heritage Spa, Hotel Sheraton Mustika Yogyakarta)." *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan* 18(2): 97-106.
- Höppe, P. (2002). "Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort." *Energy and buildings* 34(6): 661-665.
- I Wayan Wirya Sastrawan, I. G. S. D., d. N. W. M. Mustika and (2018). "Kenyamanan Termal pada Taman Air Berarsitektur Tradisional Bali (Studi Kasus: Tirta Gangga) " *UNDAGI: Jurnal Ilmiah Arsitektur* Volume 6 Nomor 2(4): 51-59.
- Ilman Basthian, S. (2015). "Pengaruh Desain Bukaannya Pada Selubung Bangunan Terhadap Efisiensi Energi Pada Rumah Susun Sederhana Sewa." *Jurnal tidak diterbitkan*.
- Irfandi, I. (2009). "*Pengaruh Iklim Dalam Perancangan Arsitektur*." *NALARs* 8(1).
- Karyono, T., E. Sri, J. Sulistiawan and Y. Triswanti (2015). "Thermal Comfort Studies in Naturally Ventilated Buildings in Jakarta, Indonesia." *Buildings* 5(3): 917-932.
- Karyono, T. H. (2010). "Kenyamanan Termal dalam Arsitektur Tropis." *Research Gate, article*.
- 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.
- Lan, L., Tsuzuki, K., Liu, Y. F., & Lian, Z. W. 2017. "Thermal environment and sleep quality: A review". *Energy and Buildings*, 149, 101-113.
- 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>
- Koenigsberger, Otto.H. 1975, *Manual of Tropical Housing and Building Climatic Design*. Longman



- Kusumo, D. A. B. S. (2010). "Pengaruh Bentuk dan Konstruksi Atap Terhadap Kenyamanan Thermal Pada Rumah Tinggal Kolonial di Kota Malang " SEMINAR NASIONAL FTSP-ITN MALANG: 8.
- Latifah, N. L., H. Perdana, A. Prasetya and O. P. Siahaan (2013). "Kajian Kenyamanan Termal pada Bangunan Student Center Itenas Bandung." REKA KARSA 1(1).
- Lippsmeier, G. (1994). Tropical Building.
- Lohrer, A. (2017). Basics designing with water, Birkhäuser.
- Madina, R. F., A. Nurriszka and D. R. Komala (2013). "Pengaruh Desain Fasade Bangunan Terhadap Kondisi Pencahayaan Alami dan Kenyamanan Termal (Studi Kasus: Campus Center Barat ITB)." Prosiding Temu Ilmiah IPLBI.
- Mahdavinejad, J. M. M. (2014). "Thermal Behavior of Double Skin Buildings " Journal of Energy Technologies and Policy Vol.4, No.9, 2014
- Mircea P.M., D. 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
- Munawaroh, A. S. and R. Elbes (2019). "Persepsi Pengguna Terhadap Kenyamanan Termal Pada Bangunan Perpustakaan Ibi Darmajaya Lampung." Arsitektur dan Perencanaan Vol 2, No 2 September.
- Moore, C. W. (1994). Water and Architecture. New York: Harry N. Abrams, Incorporated.
- 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>.
- 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>.
- Nugroho, A. C. (2011). "Sertifikasi Arsitektur/Bangunan Hijau: Menuju Bangunan yang Ramah Lingkungan." JA! UBL 2(1).
- R. T. (2006). "Air permeability of woven fabrics." Journal of Textile and Apparel, Technology and Management 5(2): 1-10.



- Olgyay, V. (2015). Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism.
- Qurrotul A'yun, P. C. W., 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.
- Rahim, R., B. Hamzah, R. Mulyadi, N. Jamala and A. Kusno (2017). "Temperatur dan Kelembaban Relatif Udara Outdoor."
- Rahman, A. and U. 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.
- Rahmawati, R., A. K. F. Akbar and F. K. Agustin (2016). "Penghawaan Alami Terkait Sistem Ventilasi Terhadap Kenyamanan Termal Rumah Susun Industri Dalam." REKA KARSA 4(1).
- Rifai, L. D., S. H. Tongkukut and S. S. Raharjo (2014). "Analisis Intensitas Radiasi Matahari di Manado dan Maros." Jurnal MIPA 3(1): 49-52.
- Rilatupa, J. (2008). "Aspek Kenyamanan Termal Pada Pengkondisian Ruang Dalam " Jurnal Sains dan Teknologi EMAS Volume 18 Nomor 3: 191-198.
- Sahabuddin, B. H., Ihsan (2014). "Pengaliran Udara Untuk Kenyamanan Termal Ruang Kelas Dengan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics." SINEKTIKA Volume 12 Nomor 2 Tahun 2014: 1-8.
- Santi, S. B., Hapsa Rianty, Aspin (2019). "Identifikasi Iklim Mikro dan Kenyamanan Termal Ruang Terbuka Hijau di Kendari." NALARs Jurnal Arsitektur Volume 18 Nomor 1 Januari: 23-34
- Sarinda, A., S. Sudarti and S. Subiki (2017). "Analisis Perubahan Suhu Ruangan Terhadap Kenyamanan Termal di Gedung 3 FKIP Universitas Jember." Jurnal Pembelajaran Fisika 6(3): 312-318.
- Satwiko, P. (2009). "Pengertian kenyamanan dalam suatu bangunan." Yogyakarta, Wignjosoebroto.

, E. (2015). Fisika Bangunan 2 Thermal dan Acoustic.

(1989). The ideology of the offensive: Military decision making and the sters of 1914, Cornell University Press.



- Sugini (2004). "Pemaknaan Istilah- Istilah Kualitas Kenyamanan Thermal Ruang Dalam Kaitan Dengan Variabel Iklim Ruang." LOGIKA Volume 1 Nomor 2: 3-17.
- Szokolay, Steven V., (2008). Introduction to Architectural Science, Routledge, Pub. Location London Built Environment, eBook ISBN 9780080878942, DOI. <https://doi.org/10.4324/9780080878942>
- Szokolay, S. V. (1987). Thermal design of buildings: RAIA Education Division.
- Szokolay, S.V, (1980), Environmental Science Handbook for Architects and Engineers, New York, John Willey & Sons.
- Szokolay, S. V. (1987). Thermal design of buildings: RAIA Education Division.
- Sugiyono, P. (2015). "Metode penelitian kombinasi (mixed methods)." Bandung: Alfabeta.
- Szokolay, S. V. (1987). Thermal design of buildings, RAIA Education Division.
- Talarosha, B. (2009). "Menciptakan Kenyamanan Termal Dalam Bangunan." Jurnal Sistem Teknik Industri Volume 6 No. 3(4): 148-158.
- Utami, F. N. H., K. Kaswanto and A. A. 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.
- Widiyananto, E. (2019). "*Pengaruh suhu permukaan ruang luar terhadap kecepatan dan arah angin di kawasan jatiwangi square.*" Jurnal Arsitektur 11(1): 13-13.
- Wylson, A. (2013). Aquatecture: architecture and water, Elsevier.
- Zatibayani, P. N., A. M. Nugroho and H. Santosa (2015). "Pengaruh Shading Devices terhadap Penerimaan Radiasi Matahari Langsung pada Fasad Gedung Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya." Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur 3(4).
- <http://www.scribd.com/doc/30574112/Artikel-Fisika-Bangunan-Thermal>. Diakses 17 September 2019

www.seputarpengetahuan.co.id/2017/12/pengertian-arsitektur-sejarah-fisi-teori-ruang-lingkup-contoh.html. Diakses Tanggal 15 Desember 2019



<https://archibazaar.com/project/nipah-mall-hotel-tower/general-arrangement-plan-block-plan-model/>.

<https://www.arsitag.com/project/nipah-mall/photo/52839>. Di akses 06 Januari 2020

<http://nipah.co.id/>. Di akses 06 Januari 2020

<https://ekonomi.djournalist.com/read/2018/04/07/1182/nipah-mall-hadir-dengan-konsep-green-building>. Di akses 06 Januari 2020

<https://makassar.tribunnews.com/2018/04/06/wow-bakal-ada-air-terjun-bantimurung-di-nipah-mall>. Di akses 06 Januari 2020

https://en.m.wikipedia.org/wiki/ASHRAE_55. Di akses 16 Maret 2022

<http://landscapecollaboration.com/work/stream-valley-at-mega-foodwalk/> Di akses 17 Juni 2023



LAMPIRAN 1 Instrumen Penelitian Disertasi

IDENTITAS BANGUNAN

Nama :
Alamat :
Tahun Berdiri :
Jumlah lantai :
Luas bangunan :
Luas Lahan :
Pimpinan/Manajer :
Jumlah Karyawan :

DATA PENGUKURAN PARAMETER IKLIM (KONDISI CUACA)

Nomor :
Hari/Tanggal :
Waktu :

Suhu/Temperatur Udara ($^{\circ}\text{C}$) :
Suhu/Temperatur Udara luar ($^{\circ}\text{C}$) :
Temperatur radiasi ($^{\circ}\text{C}$) :
Kelembaban udara (P_a) :
Nilai insulasi pakaian (clo) :
Kecepatan aliran udara (m/s) :



LAMPIRAN 2 Kuisisioner Penelitian

KUISIONER PENELITIAN

No. Responden :
Hari/Tanggal :
Waktu :

A. Identitas Responden

1. Umur (Thn) :
2. Jenis Kelamin (L/P) :
3. Pekerjaan :
4. Tinggi Badan (Cm) :
5. Berat Badan (Kg) :
6. Aktivitas/Kegiatan (met) :
7. Pakaian yang di gunakan (clo) :

B. Pertanyaan Responden *(Mohon di isi dengan memberi tanda x pada kotak di bawah ini)*

A. Sudah berapa kali bapak/ibu/sdi(i) mengunjungi tempat ini:

1. 1 kali
2. 2 kali
3. 3 kali
4. 4 kali
5. Lain-lain (sebutkan)

B. Kegiatan yang bapak/ibu/sdi(i) di lakukan di tempat ini:








1. Jalan-jalan
2. Berbelanja
3. Rekreasi
4. Lain-lain (sebutkan)

C. Bagaimana perasaan bapak/ibu/sdi(i) terhadap suhu/temperatur diruangan sekarang ini?

1. Sangat dingin
2. Dingin
3. Agak dingin/sejuk
4. Netral/tidak dingin/panas
5. Agak/sedikit panas
6. Panas
7. Sangat Panas










D. Apakah bapak/ibu/sdi(i) merasa nyaman diruangan sekarang ini?

1. Dingin 
2. Sangat Sejuk 
3. Sejuk nyaman 
4. Nyaman 
5. Hangat/nyaman 
6. Hangat/tidak nyaman 
7. Panas 



E. Apakah bapak/ibu/sdi(i) menerima suhu/temperatur diruangan saat ini?

1. Menerima 
2. Tidak menerima 






F. Bagaimana perasaan bapak/ibu/sdi(i) terhadap kelembaban udara diruangan saat ini?

1. Sangat/Terlalu lembab 
2. Sangat lembab 
3. Agak lembab 
4. Sesuai 
5. Sedikit Panas 
6. Sangat Panas 
7. Sangat/Terlalu Panas 



G. Apakah bapak/ibu/sdi(i) menerima kelembaban udara diruangan saat ini?

1. Menerima 
2. Tidak menerima 

H. Bagaimana perasaan bapak/ibu/sdi(i) terhadap aliran udara diruangan saat ini?

1. Tidak ada aliran udara 
2. Ada sedikit aliran udara 
3. Aliran udara Baik 
4. Aliran udara kencang 
5. Aliran udara sangat kencang 

I. Apakah bapak/ibu/sdi(i) menerima aliran udara diruangan saat ini?

1. Menerima 
2. Tidak menerima 

J. Apa yang bapak/ibu/sdi(i) lakukan jika suhu/temperatur udara tinggi diruangan saat ini?

1. Jalan-jalan
2. Duduk
3. Lainnya (sebutkan)

Terima Kasih Atas Partisipasi Bapak/Ibu/Sdr(I) dalam Pengisian Kuisisioner Ini



LAMPIRAN 3 Data Survey Juni 2022

NIPAH MALL DAN OFFICE BUILDING

Plot Title: HOBO 2 29 Juni 22

#	Date Time,	Solar Radiation, W/m ²	Temp, °C	RH, %	Wind Value
No	GMT+08:00	LGR S/N: 20320180	LGR S/N: 20325185	LGR S/N: 20325185	(m/s)
1	25/06/2022 09:43:07	676.9	29.3	65.3	1.4
7	25/06/2022 09:44:07	694.4	28.6	67.2	1.2
13	25/06/2022 09:45:07	704.4	29.4	63.0	1.3
19	25/06/2022 09:46:07	730.6	29.7	55.5	1.4
25	25/06/2022 09:47:07	694.4	29.7	57.4	1.4
31	25/06/2022 09:48:07	439.4	29.8	63.5	2.8
37	25/06/2022 09:49:07	298.1	28.7	61.4	2.6
43	25/06/2022 09:50:07	251.9	28.7	61.9	1.4
49	25/06/2022 09:51:07	279.4	26.6	60.9	1.7
55	25/06/2022 09:52:07	199.4	26.6	63.7	1.4
61	25/06/2022 09:53:07	183.1	29.7	61.3	1.7
67	25/06/2022 09:54:07	183.1	29.7	60.7	1.8
73	25/06/2022 09:55:07	194.4	29.8	62.7	1.8
79	25/06/2022 09:56:07	214.4	29.7	61.9	1.5
85	25/06/2022 09:57:07	246.9	26.7	61.3	1.1
91	25/06/2022 09:58:07	308.1	29.7	60.7	2.2
97	25/06/2022 09:59:07	469.4	29.7	62.7	2.5
103	25/06/2022 10:00:07	331.9	29.7	61.9	2.6
109	25/06/2022 10:01:07	645.6	29.8	61.3	1.4
115	25/06/2022 10:02:07	693.1	29.8	61.3	2.8
121	25/06/2022 10:03:07	431.9	27.7	60.7	2.6
127	25/06/2022 10:04:07	729.4	29.7	62.7	1.4
133	25/06/2022 10:05:07	728.1	29.7	61.9	1.7
139	25/06/2022 10:06:07	789.4	29.7	61.3	1.4
145	25/06/2022 10:07:07	796.9	29.7	60.7	1.1
151	25/06/2022 10:08:07	899.4	29.8	62.7	1.0
157	25/06/2022 10:09:07	875.6	29.8	61.9	0.9
163	25/06/2022 10:10:07	884.4	29.8	61.3	1.1
169	25/06/2022 10:11:07	436.9	29.8	61.3	1.0
175	25/06/2022 10:12:07	845.6	29.7	60.7	0.9
	10:13:07	765.6	29.7	62.7	1.0
	10:14:07	676.9	29.7	61.9	1.4
	10:15:07	278.1	29.8	61.3	1.2
	10:16:07	508.1	29.8	60.7	1.0



205	25/06/2022 10:17:07	798.1	28.9	62.7	1.0
211	25/06/2022 10:18:07	435.6	28.9	61.9	1.6
235	25/06/2022 10:22:07	806.9	28.9	61.3	0.5
265	25/06/2022 10:27:07	816.9	28.9	62.7	0.5
367	25/06/2022 10:44:07	935.6	28.9	61.9	0.5
373	25/06/2022 10:45:07	786.9	29.9	61.3	0.5
379	25/06/2022 10:46:07	674.4	29.9	63.7	1.4
391	25/06/2022 10:48:07	703.1	32.1	60.7	0.5
433	25/06/2022 10:55:07	634.4	29.9	62.7	1.1
457	25/06/2022 10:59:07	503.1	29.9	61.9	1.3
463	25/06/2022 11:00:07	480.6	29.9	61.3	1.4
523	25/06/2022 11:10:07	660.6	29.9	60.7	1.4
607	25/06/2022 11:24:07	863.1	29.9	62.7	1.5
637	25/06/2022 11:29:07	646.9	28.7	61.9	1.5
643	25/06/2022 11:30:07	599.4	28.7	61.3	1.4

Plot Title: HOBO 2 29 Juni 22

#	Date Time,	Solar Radiation, W/m ²	Temp, °C	RH, %	Wind Value
No	GMT+08:00	LGR S/N: 20320180	LGR S/N: 20325185	LGR S/N: 20325185	(m/s)
673	25/06/2022 11:35:07	569.4	28.7	60.7	1.4
703	25/06/2022 11:40:07	508.1	28.7	62.7	1.10
733	25/06/2022 11:45:07	446.9	28.9	61.9	1.00
763	25/06/2022 11:50:07	388.1	26.8	61.3	0.90
793	25/06/2022 11:55:07	384.4	26.7	60.7	1.1
823	25/06/2022 12:00:07	415.6	26.8	62.7	1.1
883	25/06/2022 12:10:07	471.9	26.6	61.9	1.1
943	25/06/2022 12:20:07	1111.9	26.6	61.3	2.5
1003	25/06/2022 12:30:07	399.4	26.6	60.7	1.1
1033	25/06/2022 12:35:07	950.6	26.6	62.7	1.4
1063	25/06/2022 12:40:07	895.6	26.7	61.9	1.7
1093	25/06/2022 12:45:07	834.4	26.7	61.3	1.9
1123	25/06/2022 12:50:07	578.1	26.8	60.7	2.2
1153	25/06/2022 12:55:07	525.6	26.8	62.7	2.8
1183	25/06/2022 13:00:07	713.1	26.7	61.9	2.6
1303	25/06/2022 13:20:07	814.4	26.7	61.3	2.8
1423	25/06/2022 13:40:07	763.1	26.6	61.3	2.4
1543	25/06/2022 14:00:07	145.6	26.6	60.7	2.8
	14:00:17	134.4	26.6	62.7	2.5
	14:00:27	129.4	26.6	61.9	2.4
	14:00:37	129.4	26.6	61.3	2.4
	14:00:47	129.4	26.6	60.7	2.6



Optimization Software:
www.balesio.com

1548	25/06/2022 14:00:57	129.4	26.6	62.7	2.5
1549	25/06/2022 14:01:07	128.1	26.6	61.9	2.3
1603	25/06/2022 14:10:07	715.6	26.6	61.3	2.6
1604	25/06/2022 14:20:17	711.9	26.6	61.3	1.1
1615	25/06/2022 14:40:17	146.9	26.6	60.7	2.8
1626	25/06/2022 15:00:30	126.9	26.6	62.7	2.4
1604	25/06/2022 15:20:30	106.9	26.7	61.9	2.8
1604	25/06/2022 15:30:30	105.6	26.7	61.3	2.5
1604	25/06/2022 15:40:30	101.9	26.8	61.3	2.4
1604	25/06/2022 15:59:30	101.9	26.8	60.7	2.4
1604	25/06/2022 16:00:17	100.6	26.7	62.7	2.6
1604	25/06/2022 16:20:17	100.6	26.6	61.9	2.5
1604	25/06/2022 16:40:17	100.6	26.6	61.3	2.3
1604	25/06/2022 16:59:30	98.1	26.7	61.3	2.6
1604	25/06/2022 17:00:17	98.1	26.7	60.7	1.1
1604	25/06/2022 17:20:17	96.9	26.8	62.7	2.3
1604	25/06/2022 17:40:17	99.4	26.8	61.9	2.6
1604	25/06/2022 18:00:17	80.6	26.7	61.3	1.1
1607	26/06/2022 10:38:01	764.4	26.7	61.3	1.7
1613	26/06/2022 10:39:01	765.6	26.7	66.6	1.9
1619	26/06/2022 10:40:01	768.1	26.6	67.1	2.2
1625	26/06/2022 10:41:01	768.1	26.6	61.1	2.8
1661	26/06/2022 10:47:01	780.6	26.6	60.9	2.6
1697	26/06/2022 10:53:01	783.1	26.6	60.9	2.8
1715	26/06/2022 10:56:01	786.9	26.7	60.8	2.4
1739	26/06/2022 11:00:01	793.1	26.7	60.6	2.8
1799	26/06/2022 11:10:01	803.1	26.7	66.0	2.5
1859	26/06/2022 11:20:01	816.9	26.7	67.0	2.4
1919	26/06/2022 11:30:01	824.4	26.6	68.0	2.4
1979	26/06/2022 11:40:01	861.9	26.6	68.0	2.6

Plot Title: HOBO 2 29 Juni 22

#	Date Time,	Solar Radiation, W/m ²	Temp, °C	RH, %	Wind Value
No	GMT+08:00	LGR S/N: 20320180	LGR S/N: 20325185	LGR S/N: 20325185	(m/s)
2039	26/06/2022 11:50:01	945.6	26.6	66.0	2.5
2099	26/06/2022 12:00:01	294.4	26.6	67.0	2.3
2219	26/06/2022 12:20:01	248.1	26.7	69.0	2.6
	13:00:01	444.4	26.7	69.0	0.6
	13:20:01	753.1	26.6	69.0	0.5
	13:40:01	726.9	26.6	69.0	0.5
	14:00:01	729.4	26.7	61.3	0.4



2939	26/06/2022 14:20:01	660.6	26.7	60.7	0.4
3065	26/06/2022 14:41:01	691.9	26.6	62.7	0.4
3077	26/06/2022 14:43:01	688.1	26.6	61.9	0.4
3077	26/06/2022 15:00:01	169.4	26.7	67.0	2.8
3077	26/06/2022 15:20:01	146.9	26.7	69.0	2.5
3077	26/06/2022 15:40:01	145.6	26.6	69.0	2.4
3077	26/06/2022 15:50:01	148.1	26.6	69.0	2.4
3077	26/06/2022 16:00:01	169.4	26.7	67.0	2.6
3077	26/06/2022 16:20:01	146.9	26.7	69.0	2.5
3077	26/06/2022 16:40:01	30.6	26.6	69.0	2.3
3077	26/06/2022 16:50:01	24.4	26.6	69.0	2.6
3077	26/06/2022 17:00:01	23.1	26.7	67.0	0.5
3077	26/06/2022 17:20:01	20.6	26.7	69.0	0.6
3077	26/06/2022 17:40:01	21.9	26.6	69.0	0.5
3077	26/06/2022 17:50:01	21.9	26.6	69.0	0.6
3077	26/06/2022 18:00:01	19.4	26.7	69.0	0.5
3077	26/06/2022 18:00:01	16.9	26.6	69.0	0.6
3077	26/06/2022 18:00:01	14.4	26.6	69.0	0.5
3079	27/06/2022 08:55:00	503.1	26.6	62.4	0.3
3085	27/06/2022 08:56:00	508.1	26.6	61.3	0.3
3091	27/06/2022 08:57:00	511.9	26.6	60.7	0.3
3097	27/06/2022 08:58:00	513.1	26.7	62.7	0.3
3103	27/06/2022 08:59:00	516.9	26.7	61.9	0.2
3109	27/06/2022 09:00:00	518.1	26.6	61.3	0.2
3229	27/06/2022 09:20:00	626.9	26.6	60.7	0.2
3349	27/06/2022 09:40:00	683.1	26.6	62.7	0.5
3469	27/06/2022 10:00:00	610.6	26.6	61.9	0.4
3470	27/06/2022 10:00:10	674.4	26.7	61.3	0.4
3471	27/06/2022 10:00:20	720.6	26.7	61.3	0.5
3472	27/06/2022 10:00:30	739.4	29.7	60.7	0.4
3473	27/06/2022 10:00:40	771.9	26.7	62.7	0.5
3474	27/06/2022 10:00:50	805.6	29.7	61.9	1.10
3475	27/06/2022 10:01:00	814.4	29.7	61.3	0.90
3589	27/06/2022 10:20:00	910.6	29.7	60.7	1.00
3709	27/06/2022 10:40:00	876.9	29.8	62.7	1.00
3829	27/06/2022 11:00:00	746.9	29.8	61.9	0.8
3949	27/06/2022 11:20:00	820.6	26.7	61.3	0.8
4069	27/06/2022 11:40:00	138.1	29.7	61.3	0.6
4189	27/06/2022 12:00:00	198.1	29.7	60.7	0.6
	12:20:00	105.6	26.7	62.7	0.6
	12:40:00	95.6	29.7	61.9	0.8
	13:00:00	169.4	29.7	61.3	0.8
	13:20:00	146.9	29.7	60.7	0.6



4789	27/06/2022 13:40:00	145.6	29.8	62.7	0.6
4790	27/06/2022 13:40:10	148.1	29.8	61.9	0.6
4909	27/06/2022 14:00:00	176.9	26.7	61.3	0.8
4910	27/06/2022 14:00:10	176.9	29.7	61.3	0.8
5029	27/06/2022 14:20:00	235.6	29.7	60.7	0.6
5030	27/06/2022 14:20:10	235.6	26.7	62.7	0.6
5149	27/06/2022 14:40:00	63.1	29.7	61.9	0.6
5150	27/06/2022 14:40:10	63.1	29.7	61.3	0.8
5269	27/06/2022 15:00:00	54.4	29.8	60.7	0.8
5270	27/06/2022 15:00:10	54.4	29.8	62.7	0.6
5389	27/06/2022 15:20:00	184.4	29.8	61.9	0.6
5390	27/06/2022 15:20:10	185.6	26.7	61.3	0.6
5509	27/06/2022 15:40:00	303.1	29.7	60.9	0.8
5510	27/06/2022 15:40:10	296.9	29.7	60.9	1.7
5511	27/06/2022 15:40:20	290.6	29.8	60.8	1.9
5512	27/06/2022 15:40:30	283.1	29.8	65.6	2.2
5513	27/06/2022 15:40:40	280.6	26.7	66.6	2.8
5514	27/06/2022 15:40:50	279.4	29.7	67.1	2.6
5515	27/06/2022 15:41:00	280.6	29.7	61.1	2.8
5516	27/06/2022 15:41:10	283.1	29.7	60.9	2.4
5629	27/06/2022 16:00:00	215.6	29.7	60.9	0.5
5630	27/06/2022 16:00:10	218.1	29.8	60.8	0.4
5749	27/06/2022 16:20:00	366.9	29.8	60.6	0.8
5750	27/06/2022 16:20:10	368.1	29.8	61.3	0.8
5869	27/06/2022 16:40:00	273.1	29.8	60.7	0.6
5870	27/06/2022 16:40:10	273.1	29.7	62.7	0.6
5988	27/06/2022 16:59:50	169.4	29.7	61.9	0.6
5989	27/06/2022 17:00:00	170.6	29.7	67.1	0.9
5990	27/06/2022 17:00:10	174.4	29.8	67.0	0.9
6109	27/06/2022 17:20:00	93.1	29.8	62.9	0.9
6110	27/06/2022 17:20:10	93.1	32.5	63.1	1.1
6229	27/06/2022 17:40:00	90.6	32.5	66.6	1.1
6230	27/06/2022 17:40:10	86.9	32.5	67.1	1.0
6348	27/06/2022 17:59:50	81.9	32.5	61.1	0.9
6349	27/06/2022 18:00:00	78.1	32.5	60.9	0.7
6350	27/06/2022 18:00:10	73.1	32.5	60.9	1.1
6351	27/06/2022 18:00:20	68.1	32.5	60.8	1.1
6352	27/06/2022 18:00:30	63.1	32.5	60.6	1.0
6353	27/06/2022 18:00:40	59.4	32.5	59.7	0.9
	18:00:50	54.4	32.5	59.2	0.7
	18:01:00	51.9	32.5	59.0	1.1
	18:01:10	50.6	32.5	58.5	1.1
	18:01:20	50.6	33.5	57.9	1.0



6463	27/06/2022 18:19:00	50.6	33.5	61.3	0.9
6464	27/06/2022 18:19:10	48.1	32.5	61.3	0.7
	28/06/2022 09:00:10	0.6	32.5	61.3	0.9
6464	28/06/2022 09:20:10	918.1	32.5	62.3	0.9
6464	28/06/2022 09:40:10	486.9	30.0	66.0	2.1
6464	28/06/2022 10:00:10	324.4	30.0	67.0	1.7
6464	28/06/2022 10:20:10	285.6	30.0	68.0	1.7
6464	28/06/2022 10:40:10	269.4	30.0	65.0	1.6
6464	28/06/2022 11:00:10	264.4	30.0	66.0	1.6
6464	28/06/2022 11:20:10	259.4	29.9	61.3	1.8
6464	28/06/2022 11:40:10	253.1	29.9	60.7	1.8

Plot Title: HOBO 2 29 Juni 22

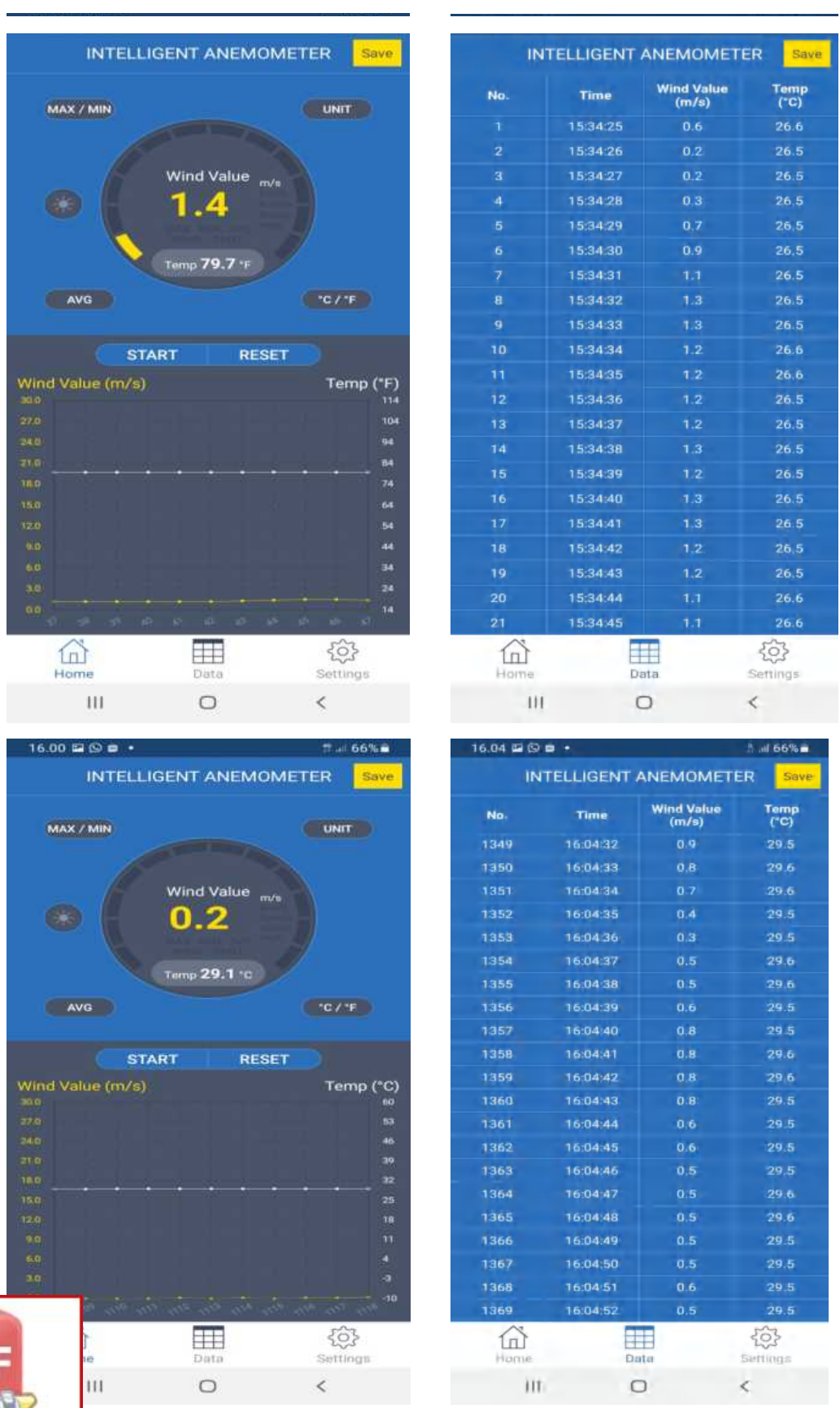
#	Date Time,	Solar Radiation, W/m ²	Temp, °C	RH, %	Wind Value
No	GMT+08:00	LGR S/N: 20320180	LGR S/N: 20325185	LGR S/N: 20325185	(m/s)
6464	28/06/2022 12:00:10	248.1	29.9	62.7	2.1
6464	28/06/2022 12:20:10	243.1	29.9	61.9	1.9
6464	28/06/2022 12:40:10	241.9	29.9	69.0	1.4
6464	28/06/2022 13:00:10	239.4	32.1	69.0	1.9
6464	28/06/2022 13:00:10	238.1	29.9	69.0	1.8
6464	28/06/2022 13:00:10	236.9	29.9	69.0	1.4
6464	28/06/2022 13:20:10	235.6	29.9	69.0	1.4
6464	28/06/2022 13:40:10	235.6	29.9	69.0	1.4
6464	28/06/2022 13:59:20	234.4	29.9	60.9	1.5
6464	28/06/2022 14:00:10	235.6	29.9	60.9	1.5
6464	28/06/2022 14:20:10	236.9	29.8	60.8	1.5
6464	28/06/2022 14:40:10	236.9	29.8	60.9	1.5
6464	28/06/2022 14:59:50	221.9	29.8	60.9	1.6
6464	28/06/2022 15:00:10	235.6	29.9	61.3	2.1
6464	28/06/2022 15:20:10	235.6	29.9	66.0	1.9
6464	28/06/2022 15:40:10	234.4	29.9	67.0	1.4
6464	28/06/2022 15:59:50	235.6	32.1	68.0	1.9
6464	28/06/2022 15:00:10	236.9	29.9	65.0	1.8
6464	28/06/2022 15:20:10	236.9	29.9	66.0	1.4
6464	28/06/2022 15:40:10	221.9	29.9	64.3	1.4
6464	28/06/2022 15:59:50	78.1	29.9	63.7	1.4
6464	28/06/2022 16:00:10	70.6	29.9	62.7	1.5
	16:20:10	64.4	29.9	64.9	1.5
	16:40:10	63.1	29.8	69.0	1.5
	16:59:50	63.1	29.8	69.0	1.5
	17:00:10	59.4	29.8	69.0	1.6
	17:20:10	55.6	29.8	69.0	1.5



6464	28/06/2022 17:40:10	50.6	29.8	67.0	1.5
6464	28/06/2022 17:59:50	48.1	29.8	67.0	1.5
6464	28/06/2022 18:00:10	44.4	29.8	68.0	1.5
6464	28/06/2022 18:20:10	41.9	29.8	68.0	1.6
6464	28/06/2022 18:40:10	39.4	32.5	69.0	1.8
6474	29/06/2022 12:27:12	221.9	29.2	65.0	0.9
6551	29/06/2022 12:40:02	225.6	31.2	66.0	0.9
6647	29/06/2022 12:56:02	221.9	32.4	66.4	2.8
6648	29/06/2022 12:56:12	219.4	32.4	56.2	2.6
6649	29/06/2022 12:56:22	216.9	32.6	55.8	2.8
6650	29/06/2022 12:56:32	214.4	32.6	55.3	2.4
6651	29/06/2022 12:56:42	213.1	32.6	54.8	2.8
6652	29/06/2022 12:56:52	209.4	32.6	54.4	2.5
6653	29/06/2022 12:57:02	205.6	32.6	54.4	2.4
6654	29/06/2022 12:57:12	204.4	32.6	54.7	2.4
6655	29/06/2022 12:57:22	203.1	32.6	54.6	2.6
6656	29/06/2022 12:57:32	203.1	32.6	54.8	2.5
6657	29/06/2022 12:57:42	199.4	32.6	54.8	2.3
6658	29/06/2022 12:57:52	198.1	32.6	54.7	2.6
6659	29/06/2022 12:58:02	198.1	32.6	54.5	1.1
6660	29/06/2022 12:58:12	195.6	32.7	54.2	1.1
6661	29/06/2022 12:58:22	195.6	32.7	54.1	1.0
6662	29/06/2022 12:58:32	196.9	32.7	54.1	0.9
6663	29/06/2022 12:58:42	198.1	32.7	54.2	0.7
6664	29/06/2022 12:58:52	198.1	32.8	54.1	1.1
6665	29/06/2022 12:59:02	199.4	32.8	54.0	1.1
6666	29/06/2022 12:59:12	200.6	32.8	55.9	1.0
6667	29/06/2022 12:59:22	203.1	32.8	53.8	0.9
6668	29/06/2022 12:59:32	205.6	32.9	53.8	0.7
6669	29/06/2022 12:59:42	208.1	32.9	53.8	2.3
6670	29/06/2022 12:59:52	211.9	32.9	54.1	2.3
6671	29/06/2022 13:00:02	216.9	33.3	55.7	2.3
6672	29/06/2022 13:00:06	223.1	32.5	60.8	2.3



LAMPIRAN 4 Data Kecepatan Angin



LAMPIRAN 5 Data Perhitungan Kenyamanan dan Lingkungan Termal

Perhitungan Analisis Kenyamanan & Lingkungan Termal									
Nipah Mall			GMT+08:00	Plot Title: HOBO 2 29 Juni 22		05°13'89"66, 119°45'00"11			
LGRS/N: 20325185	LGRS/N: 20325185	HP-866B-APP	LGRS/N: 20320180						
Temperatur	Kelembaban	Kecepatan	Temperature	Tingkat	Nilai Insulasi	Rasio Permukaan	Nilai	Nilai	Nilai
Udara	Udara	Aliran Udara	Radiasi	Aktivitas	Pakaian	Tubuh (Berpakaian)	PMV	PPD (%)	SET
(°C)- Ta	(%) - Pa	(m/s) - V	(°C) - Ir	(W/m2)- M	(Clo) - Id	(fcl)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27.30	64.95	1.60	32.50	58.20	0.60	1.20	0.15	5.00	25.80
28.50	64.95	1.60	32.50	58.20	0.60	1.20	0.15	5.00	25.80
28.80	65.07	1.80	32.50	59.00	0.60	1.20	0.15	5.00	25.80
29.30	62.92	1.80	32.50	59.00	0.60	1.20	0.15	5.00	25.80
30.20	55.36	2.10	32.50	59.00	0.60	1.20	0.15	5.00	25.80
29.30	66.63	1.50	32.50	59.00	0.60	1.20	0.37	8.00	26.60
29.50	67.08	1.50	32.50	59.00	0.60	1.20	0.37	8.00	26.60
29.60	59.09	1.50	32.50	60.20	0.60	1.20	0.37	8.00	26.60
29.60	58.46	1.60	32.50	60.20	0.60	1.20	0.37	8.00	26.60
29.70	55.46	1.70	32.50	60.20	0.60	1.20	0.37	8.00	26.60
26.60	66.63	2.70	32.50	60.20	0.60	1.20	0.10	7.00	23.80
26.90	66.96	2.60	32.50	60.20	0.60	1.20	0.10	7.00	23.80
27.50	61.89	2.40	32.50	60.20	0.60	1.20	0.10	7.00	23.80
27.50	61.89	2.40	32.50	60.20	0.60	1.20	0.10	7.00	23.80
28.40	61.31	2.70	32.50	60.20	0.60	1.20	0.10	7.00	23.80

Perhitungan Analisis Kenyamanan & Lingkungan Termal									
Maxone Hotels			GMT+07:00	Plot Title: Hobo 13 Des 2022		05°11'78"66, 119°40'00"11			
LGRS/N: 20325185	LGRS/N: 20325185	HP-866B-APP	LGRS/N: 20320180						
Temperatur	Kelembaban	Kecepatan	Temperature	Tingkat	Nilai Insulasi	Rasio Permukaan	Nilai	Nilai	Nilai
Udara	Udara	Aliran Udara	Radiasi	Aktivitas	Pakaian	Tubuh (Berpakaian)	PMV	PPD (%)	SET
(°C)- Ta	(%) - Pa	(m/s) - V	(°C) - Ir	(W/m2)- M	(Clo) - Id	(fcl)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28.50	68.00	0.10	32.10	60.20	0.60	1.20	1.42	47.00	30.40
28.60	67.00	0.50	32.50	60.20	0.60	1.20	1.42	47.00	30.40
28.90	67.00	0.70	32.60	60.20	0.60	1.20	1.42	47.00	30.40
31.30	66.00	0.80	32.60	60.20	0.60	1.20	1.42	47.00	30.40
32.60	65.00	1.20	32.60	60.20	0.60	1.20	1.42	47.00	30.40
31.20	68.00	0.60	33.60	60.20	0.60	1.20	1.45	48.00	30.50
29.40	67.00	0.70	33.60	60.20	0.60	1.20	1.45	48.00	30.50
32.40	65.00	0.90	33.90	60.20	0.60	1.20	1.45	48.00	30.50
32.60	64.00	0.90	33.90	60.20	0.60	1.20	1.45	48.00	30.50
33.40	64.00	1.30	33.90	60.20	0.60	1.20	1.45	48.00	30.50
31.50	65.00	1.40	32.70	65.20	0.60	1.20	0.23	6.00	26.00
31.90	67.00	1.80	32.70	65.20	0.60	1.20	0.23	6.00	26.00
32.20	66.00	1.60	32.70	65.20	0.60	1.20	0.23	6.00	26.00
32.50	65.00	0.90	32.60	65.20	0.60	1.20	0.23	6.00	26.00
33.50	64.00	0.70	32.60	65.20	0.60	1.20	0.23	6.00	26.00

Pergerakan udara dan waktu pengukuran kecepatan angin pada area Mal Nipah

Lokasi	Titik	Waktu Pengukuran									Rata
		08.00-09.00	09.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	
Mal Nipah	Ukur	0.66	0.83	0.95	1.30	1.25	2.13	1.85	1.34	1.30	1.291
Sisi Utara	1	0.66	0.83	0.95	1.30	1.25	2.13	1.85	1.34	1.30	1.291
Sisi Selatan	2	0.46	0.66	0.61	0.74	0.78	0.88	1.03	1.14	0.82	0.792
Sisi Timur	3	0.44	0.48	0.48	0.50	0.49	0.42	0.63	0.41	0.33	0.465
Sisi Barat	4	0.32	0.34	0.35	0.50	0.45	0.43	0.52	0.36	0.33	0.400
Sisi Atas	5	1.57	1.68	1.76	2.03	2.47	2.61	2.67	2.61	2.21	2.180
Rata-Rata		0.69	0.80	0.83	1.01	1.09	1.30	1.34	1.17	1.00	1.025

Pergerakan udara dan waktu pengukuran kecepatan angin pada area Maxone hotel

Titik	Ukur	Waktu Pengukuran									Rata
		08.00-09.00	09.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	
1		0.20	0.56	0.76	0.81	0.32	0.49	0.50	1.19	0.98	0.645
2		0.21	0.21	0.21	0.23	0.22	0.18	0.13	0.18	0.12	0.189

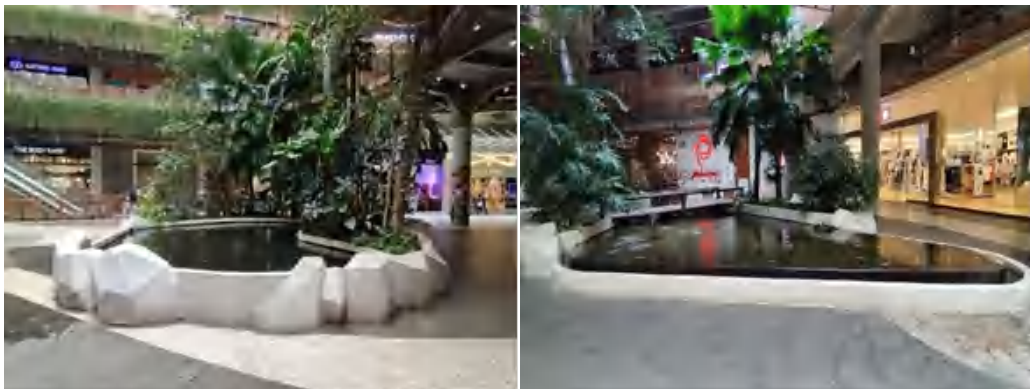


Sisi Timur	3	0.24	0.28	0.29	0.40	0.49	0.42	0.53	0.45	0.31	0.380
Sisi Barat	4	0.32	0.37	0.45	0.50	0.55	0.42	0.72	0.66	0.63	0.513
Sisi Atas	5	1.67	1.66	1.79	1.83	2.08	1.62	1.85	1.61	1.76	1.764
Rata-Rata		0.53	0.62	0.70	0.75	0.73	0.63	0.75	0.82	0.76	0.698

LAMPIRAN 6 Pengukuran Nipah Mall

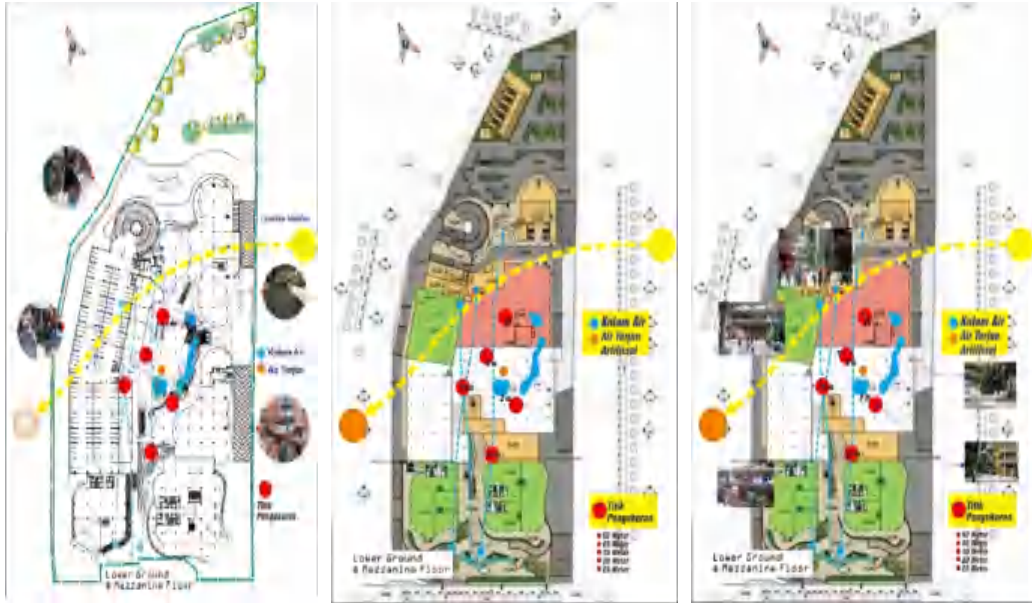


Tinggi Air Terjun 1 ± 15 m, Air Terjun 2 ± 18m, dan Air Terjun 3 ± 22 m

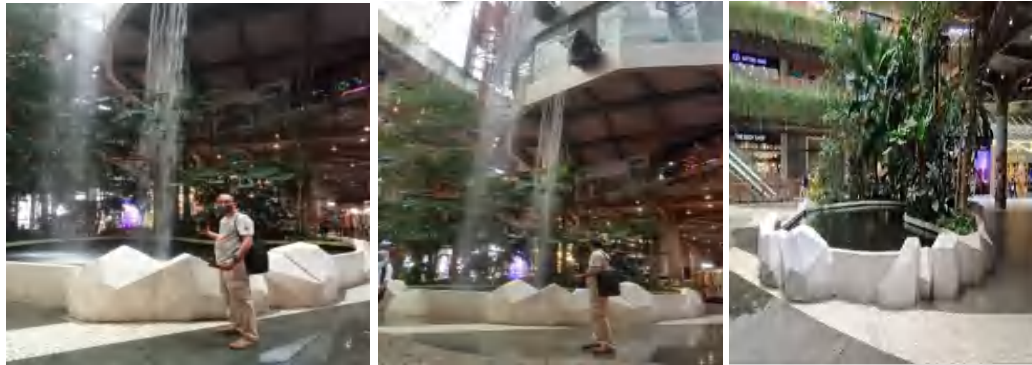


Ukuran Kolam:





B. Denah Titik Pengukuran

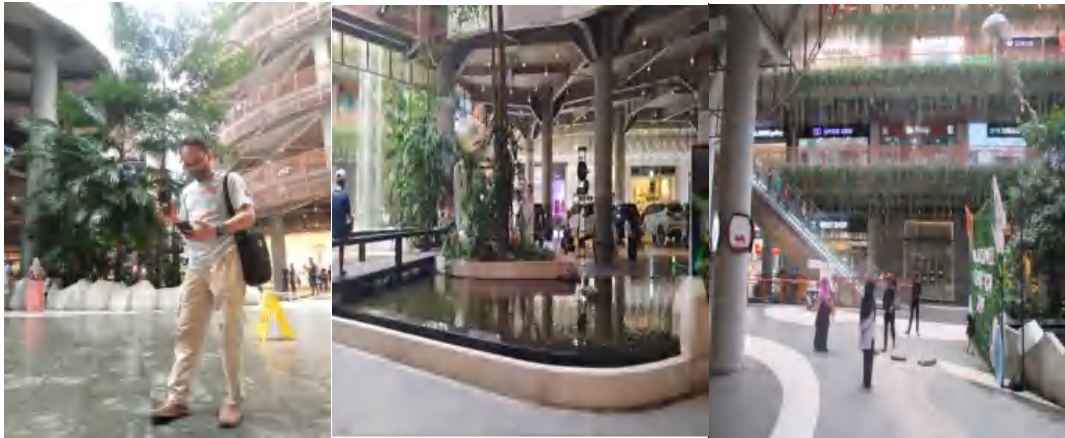


Titik Pengukuran 1 (Jarak 2 meter)



Titik Pengukuran 2 (jarak 5 Meter)





Titik Pengukuran 3 (jarak 10 Meter)



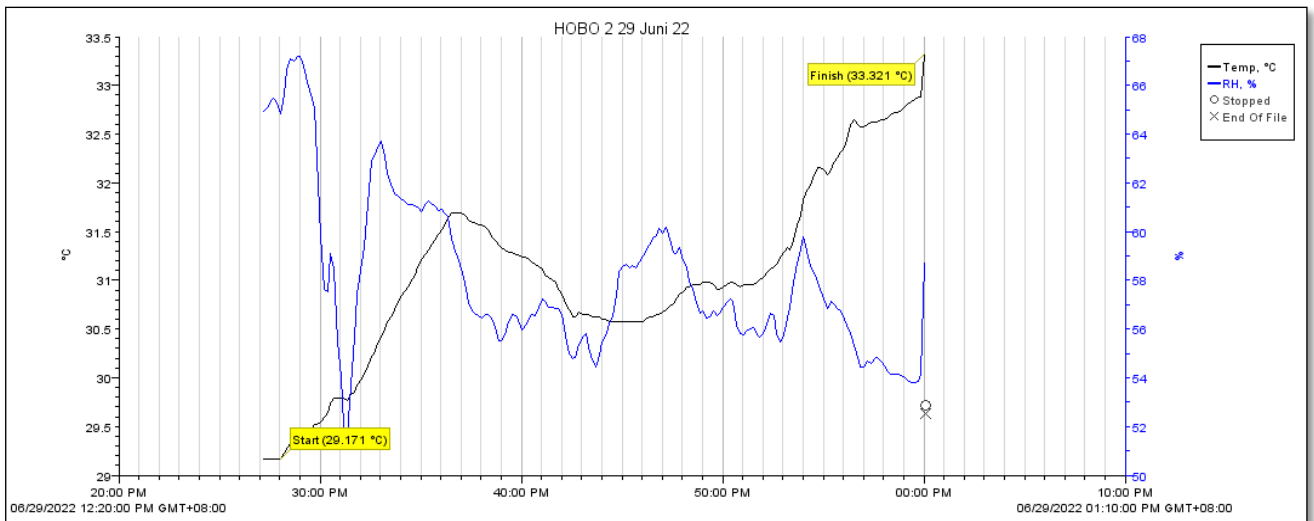
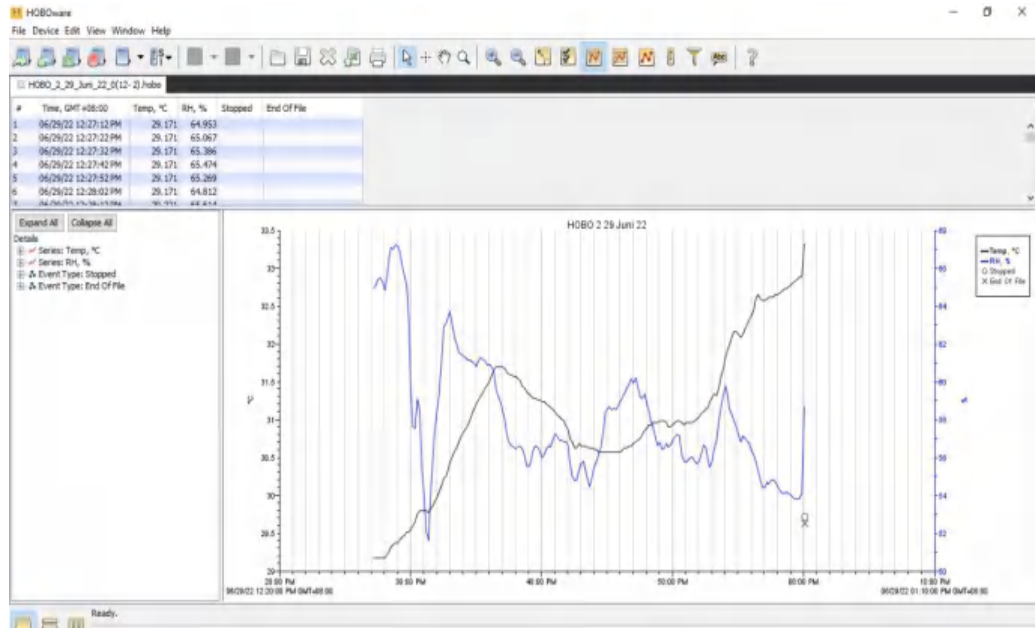
Titik Pengukuran 4 (jarak 20 Meter)



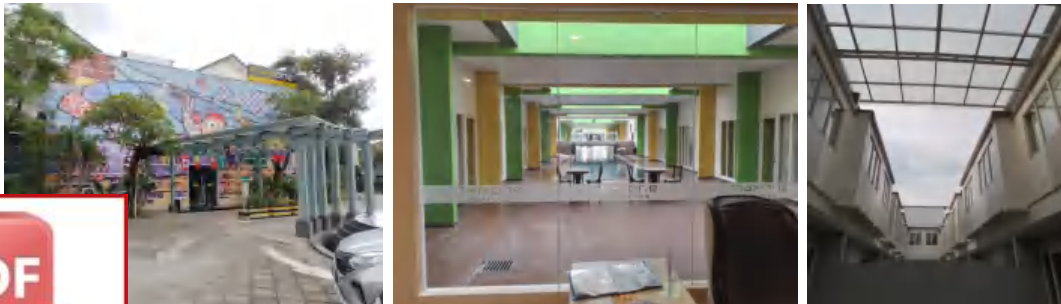
Titik Pengukuran 5 (jarak 25 Meter)

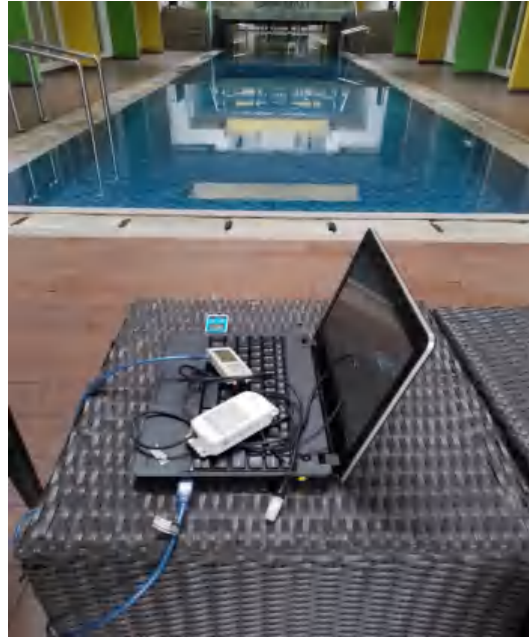


LAMPIRAN 7 Hasil Pengukuran



LAMPIRAN 8 Pengukuran Maxone Hotel

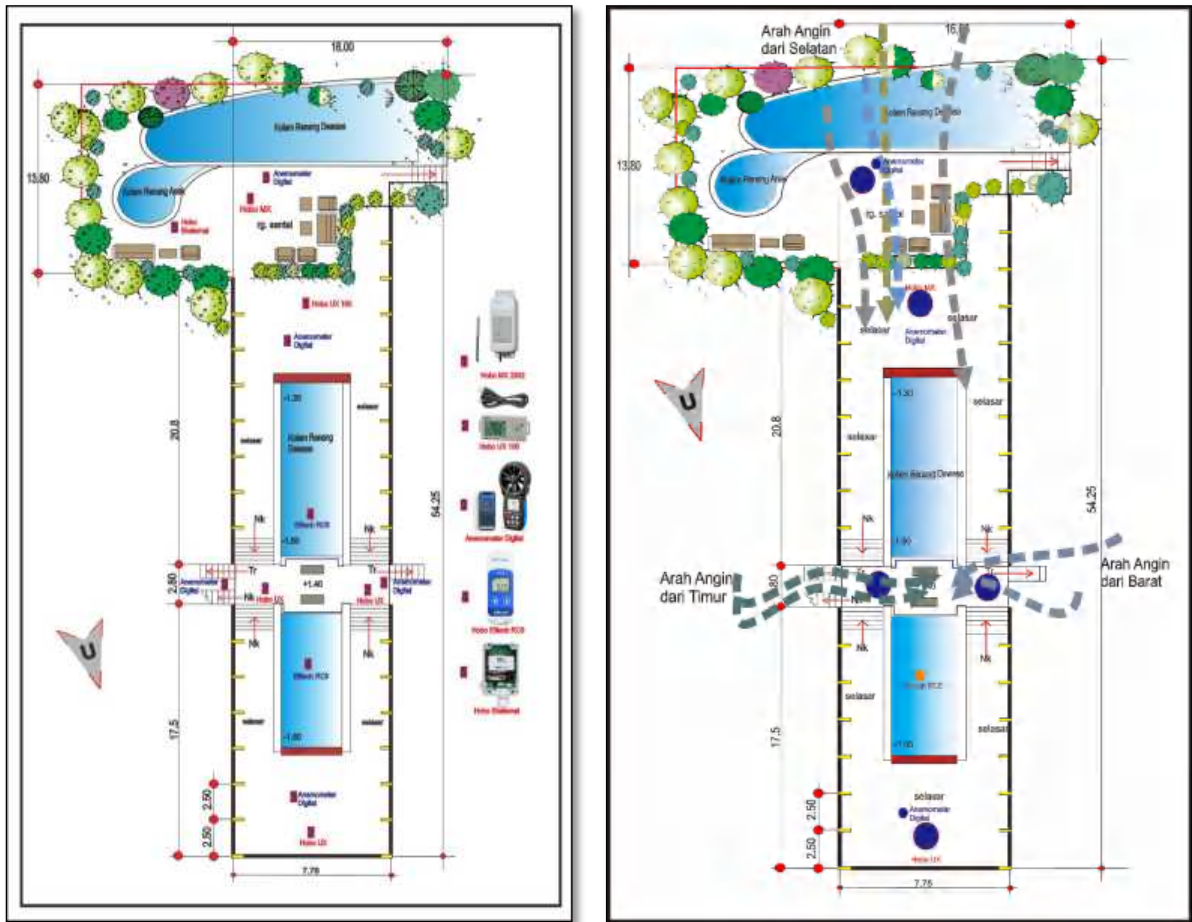




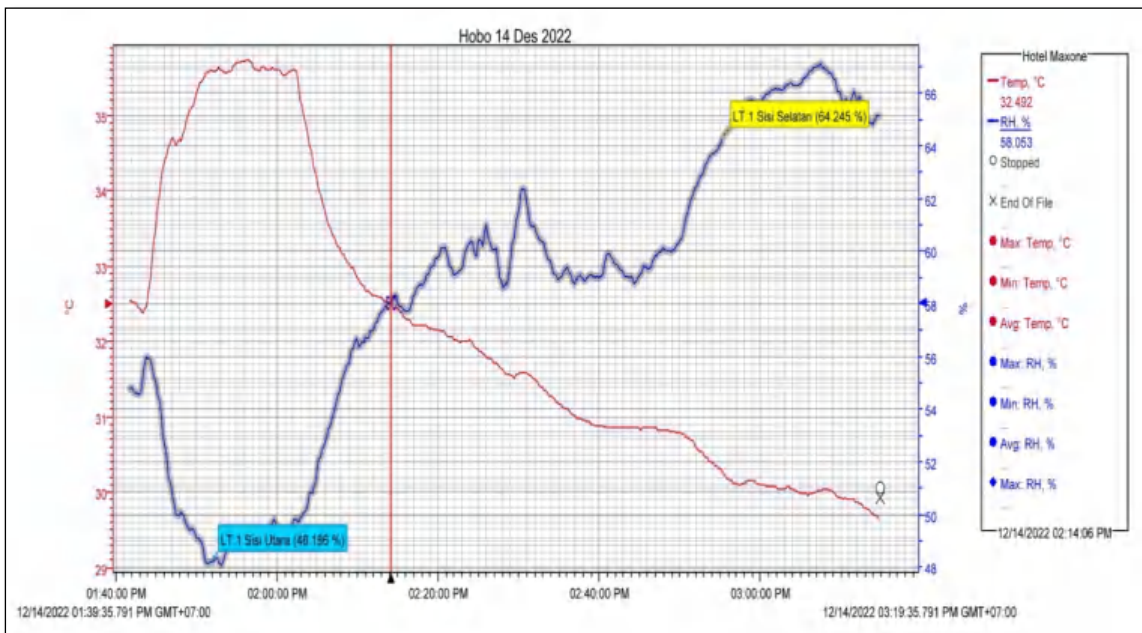
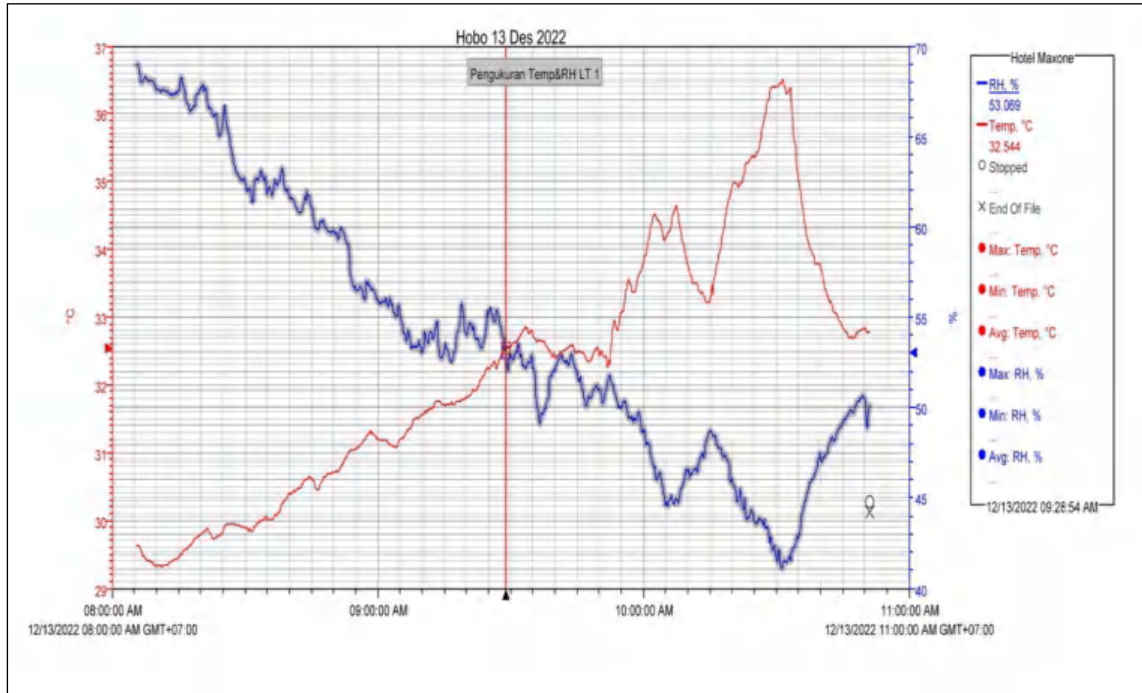


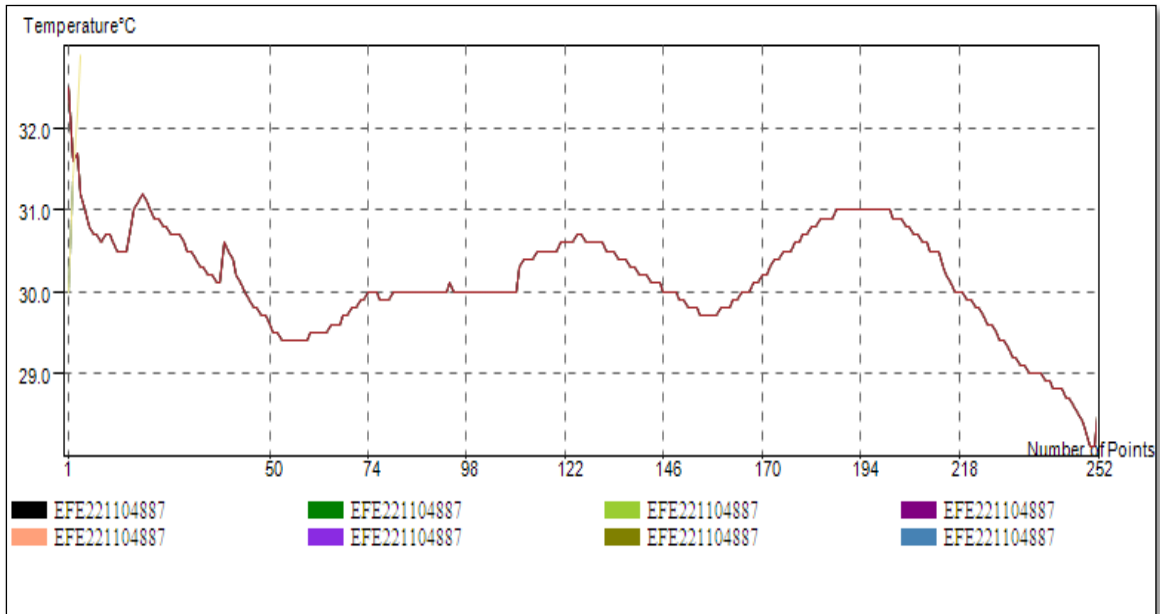
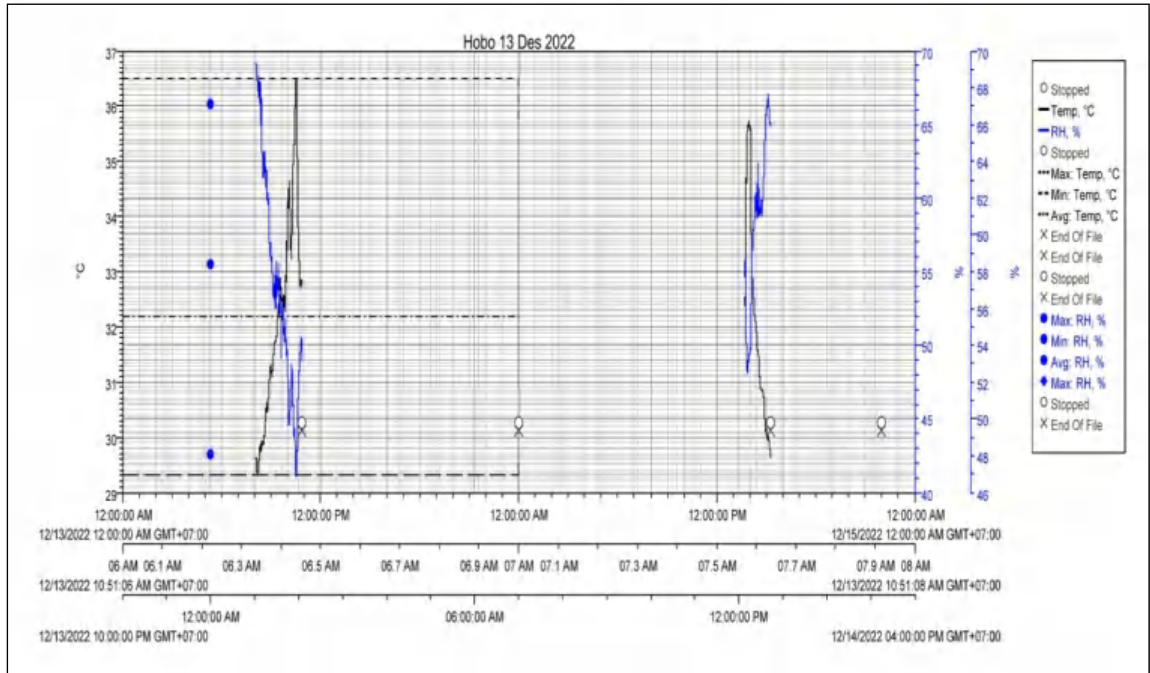
Optimization Software:
www.balesio.com

LAMPIRAN 9 Penempatan Alat Pengukuran



LAMPIRAN 10 Data Hasil Pengukuran





INTELLIGENT ANEMOMETER			
Wind Value			
No.	Time	Wind Value	Temp
		(m/s)	(°C)
1	8:30:00	0.0	28.5
2	8:35:00	0.0	28.5
3	8:40:00	0.0	28.5
4	8:45:00	0.0	28.6
5	8:50:00	0.0	28.6
6	8:55:00	0.4	28.9
7	9:00:00	0.5	28.9
8	9:05:00	0.7	28.5
9	9:10:00	0.7	28.4
10	9:15:00	0.6	30.2
11	9:20:00	0.6	30.2
12	9:25:00	0.5	30.3
13	9:30:00	0.5	30.3
14	9:35:00	0.5	30.1
15	9:40:00	0.4	30.1
16	9:45:00	0.5	30.2
17	9:50:00	0.5	30.4
18	9:55:00	0.9	30.3
19	10:00:00	0.3	30.4
20	10:05:00	0.2	30.5
21	10:10:00	0.4	30.3
22	10:15:00	0.8	30.5
23	10:20:00	0.2	30.5
24	10:25:00	0.9	30.8
25	10:30:00	0.9	30.7
26	10:35:00	1.0	31.4
27	10:40:00	1.2	31.5
28	10:45:00	1.6	31.2
29	10:50:00	0.9	31.3
30	10:55:00	0.8	31.3
31	11:00:00	0.7	32.6
32	11:05:00	0.6	32.7
33	11:10:00	0.6	32.6
34	11:15:00	0.8	32.8
35	11:20:00	0.8	33.2
36	11:25:00	0.8	33.3
37	11:30:00	0.7	33.2
38	11:35:00	1.0	33.1
39	11:40:00	0.8	33.1
40	11:45:00	0.9	33.0
41	11:50:00	1.0	33.1
42	11:55:00	1.1	33.2
43	12:00:00	0.7	32.9
RATA-RATA		0.6	30.9

INTELLIGENT ANEMOMETER			
Wind Value			
No.	Time	Wind Value	Temp
		(m/s)	(°C)
1	15:00:00	1.4	31.5
2	15:10:00	1.3	31.4
3	15:19:59	1.2	31.8
4	15:20:00	1.0	31.5
5	15:29:59	1.0	31.6
6	15:30:00	1.6	31.9
7	15:39:59	1.2	32.0
8	15:40:00	1.2	32.4
9	15:49:59	1.5	32.5
10	15:50:00	1.0	32.5
11	15:59:59	1.0	32.8
12	16:00:00	0.9	33.0
13	16:10:00	0.5	33.0
14	16:19:59	0.5	33.4
15	16:20:00	1.4	33.5
16	16:29:59	0.5	33.2
17	16:30:00	0.5	31.8
18	16:39:59	0.4	29.9
19	16:40:00	0.3	29.9
20	16:49:59	1.4	29.9
21	16:50:00	1.5	31.4
22	16:59:59	1.5	31.3
23	17:00:00	1.4	30.1
24	17:10:00	1.4	29.8
25	17:19:59	1.2	29.0
26	17:20:00	1.0	29.0
27	17:29:59	1.0	28.9
28	17:30:00	1.6	28.9
29	17:39:59	0.5	28.9
30	17:40:00	0.7	29.2
31	17:49:59	0.7	29.1
32	17:50:00	0.6	29.0
33	17:59:59	0.6	29.2
34	18:00:00	0.5	28.9
RATA-RATA		0.9	29.2

