

# **DISERTASI**

## **MODEL LINGKUNGAN TERMAL PADA BANGUNAN DENGAN ELEMEN AIR DAN VEGETASI SEBAGAI PENGUBAH IKLIM MIKRO DI IKLIM TROPIS PANAS DAN LEMBAB**

**Disusun Oleh**

**MUHAMMAD AWALUDDIN HAMDY  
D023181001**



**PROGRAM STUDI DOKTOR (S3) ILMU ARSITEKTUR  
DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**



**Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)**

**PENGAJUAN DISERTASI**

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

**Disertasi**  
**sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar doktor**  
**Program Studi Ilmu Arsitektur**

**Disusun dan di ajukan oleh**

**MUHAMMAD AWALUDDIN HAMDY**  
**D023 18 1 001**

**kepada**

**PROGRAM STUDI DOKTOR (S3) ILMU ARSITEKTUR**  
**DEPARTEMEN ARSITEKTUR**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**GOWA**  
**2024**



## LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI

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

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD AWALUDDIN HAMDY**  
**D023 18 1 001**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Ilmu Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal **02 April 2024** dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui  
Promotor



Prof. H. Baharuddin Hamzah, ST., M.Arch., Ph. D  
NIP. 19690308 199512 1 001

Co-Promotor I



Ir. Ria Wikantari, M.Arch., Ph. D  
NIP. 19610915 198811 2 001

Co-Promotor II

Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi, ST., MT  
NIP. 19700810 199802 1 001

Ketua Program Studi



Ala Bangsawan, MT.  
NIP. 199412 2 001

Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad. Isran Ramli, ST., MT.  
NIP. 19730926 200012 1 002



## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **MUHAMMAD AWALUDDIN HAMDY**  
NIM : **D023181001**  
Program Studi : **Doktor Ilmu Arsitektur**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang berjudul “Model Lingkungan Termal Pada Bangunan Dengan Elemen Air dan Lanskap Sebagai Pengubah Iklim Mikro di Iklim Tropis Panas dan Lembab” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing **Prof. H. Baharuddin Hamzah, ST., M.Arch., Ph. D** selaku promotor, **Ir. Ria Wikantari, M.Arch., Ph. D**, dan **Dr. Eng. Rosady Mulyadi, ST., MT** selaku Ko-promotor. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Jurnal IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science IOP Publishing 1157 (2023) 012008 doi:10.1088/1755-1315/1157/1/012008 dengan judul "**Analysis of Thermal Environmental Comfort with Water and Landscape Elements as Microclimate Modifiers in Buildings in Humid Tropical Climates**" dan di jurnal internasional Architectural Research Vol.5 Nomor 4 Desember 2023 Hal. 73-84 pISSN 1229-6163 eISSN 2383-5575 <https://doi.org/10.5659/AIKAR.2023.25.4.73> dengan judul “**Environmental Modeling and Thermal Comfort in Buildings in Hot and Humid Tropical Climates**”

Jika ternyata di dalam naskah disertasi ini dapat dibuktikan Terdapat unsur-unsur jiplakan, maka gelar akademik yang saya peroleh batal demi hukum (Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70 UU No. 20 Tahun 2003).

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 02 April 2024  
Mahasiswa,



**MUHAMMAD AWALUDDIN HAMDY**  
NIM: **D023181001**



## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas Limpahan Berkah dan Rahmat-NYA, penulis dapat menyelesaikan laporan hasil disertasi dengan judul “**Model Lingkungan Termal Pada Bangunan Dengan Elemen Air dan Vegetasi Sebagai Pengubah Iklim Mikro di Iklim Tropis Panas dan Lembab**”.

Dalam perjalanan proses penyelesaian program Doktor ini, penulis memperoleh suatu kesadaran yang tinggi untuk membenahi keterbatasan dan kemampuan yang dapat meningkatkan wawasan dalam mengikuti suatu perubahan ilmu pengetahuan. Kesadaran inilah yang memberikan motivasi tinggi untuk terus mengingatkan bahwa menggali ilmu pengetahuan harus dilakukan melalui proses yang terus menerus berjalan.

Dengan selesainya laporan hasil disertasi ini, penulis sepenuhnya mengakui dan menyadari tidak terlepas dari bimbingan, arahan dan dukungan dari Promotor dan Co Promotor serta berbagai pihak lainnya, meskipun tanggung jawab akhir penulisan ini berada pada penulis sendiri. Dalam kesempatan ini dengan sepenuh hati yang tulus, penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

**Prof. H. Baharuddin Hamzah, ST., M.Arch., Ph. D selaku promotor, Ir. Ria Wikantari, M.Arch., Ph. D, dan Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi, ST., MT selaku Ko-promotor**, terima kasih atas bimbingan dan masukan yang diberikan dalam penelitian dan penyusunan laporan hasil penelitian disertasi. Kecerdasan, keluasan wawasan yang kritis, kearifan dari bapak dan ibu selaku promotor selalu memberikan waktu untuk berdiskusi dan mengarahkan, serta mendorong penulis agar senantiasa belajar dan bertindak dengan lebih teliti dan hati-hati serta tidak pernah putus

semangat.

Demikian halnya dengan para penguji, terima kasih yang tak terhingga kepada Dr.Ir.Nurul Jamala Bangsawan, MT; Dr.Eng.Ir.Asniawaty,ST.,MT;



Dr.Ir.H. Edward Syarif, ST., MT, dan Dr.Eng.Ir. Nasruddin, ST.,MT, yang telah banyak memberikan masukan, tanggapan dan meluangkan waktu kepada penulis untuk memberikan kritikan yang membangun guna penyempurnaan laporan hasil penelitian disertasi ini.

Terima kasih yang tak terhingga kepada bapak Prof.Dr.Ir. Sangkertadi, DEA sebagai dosen penguji Eksternal atas waktu dan kesempatan memberikan saran, tanggapan dan masukan kepada penulis.

Dengan selesainya disertasi ini, tak lupa diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., Rektor Universitas Hasanuddin Makassar, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti Pendidikan di Program Doktor Ilmu Arsitektur.

Prof. dr. Budu, Ph.D., Sp.M(K)., M. MedEd selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar, yang telah memberikan kesempatan dan memfasilitasi kebutuhan akademik penulis untuk belajar sungguh-sungguh, sehingga pada akhirnya upaya belajar pada program ini dapat terselesaikan dengan baik.

Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan rekomendasi dan kesempatan pada penulis untuk menimba ilmu pengetahuan di Fakultas Teknik, sehingga penulis mendapatkan khasanah ilmu pengetahuan yang bermanfaat.

Dr. Ir. H. Edward Syarif, ST., MT, Ketua Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang senantiasa membimbing, mengajar dan memberikan ilmu yang tidak ternilai dengan penuh ketulusan hati.

Dr. Ir. Nurul Jamal Bangsawan, M.T., selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Arsitektur Universitas Hasanuddin, yang telah banyak melayani dan mengarahkan penulis mulai dari sejak penerimaan hingga selesai dari program Doktor ini dengan tulus dan ikhlas, kedisiplinan yang tinggi dan kearifan dalam melayani dan mengarahkan tentang apa yang harus dilakukan oleh penulis dalam menyelesaikan program doktor ini.

ra Guru Besar dan Dosen kami pada Program Doktor Ilmu Arsitektur Pascasarjana Universitas Hasanuddin, yang telah banyak memberikan pengetahuan, memotivasi, mendorong dan berdiskusi dengan saya hingga



selesainya studi pada Program Doktor Ilmu Arsitektur pada Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Gowa.

Selaku penulis juga menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga atas bantuan kepada General Manager Nipah Mall dan Office Building, pimpinan dan staff Maxone Hotel, pimpinan dan staff Gammara Hotel, serta bapak dan ibu atas rekomendasi penelitian yang mengizinkan peneliti melaksanakan riset dan pengukuran serta kesediaannya menjadi responden dalam penelitian ini.

Penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tak terhingga dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua tercinta, Ayahanda almarhum Prof.Dr. H. Abu Hamid, M.A dan Ibunda almarhumah Hj. St. Saniah Kasim yang selalu memberikan motivasi dan inspirasi bagi penulis untuk terus belajar, berusaha, dan berdoa. Semoga Allah SWT memberikan tempat terbaik di sisi-NYA. Aamiin YRA.

Keluarga besar Hamdys Family, kakak, dan adik yang telah memberikan bantuan dan dorongan kepada penulis untuk melanjutkan Pendidikan tingkat doktoral, serta semangat yang di berikan untuk menyelesaikan laporan hasil disertasi ini.

Isteri tercinta Wiwin Trisma, SH dan keluarga, yang menjadi inspirasi dan motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan studi jenjang doktoral.

Teman seperjuangan sekaligus sahabat seangkatan Faizal Baharuddin atas kerjasama, bantuan, dan semangat dalam menjalani perkuliahan, suka dan duka di jalani bersama hingga tahap penyelesaian laporan disertasi ini.

Rekan-rekan Mahasiswa Program Doktor Ilmu Arsitektur Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas motivasi dan semangat yang di berikan dalam penyelesaian hasil penelitian disertasi ini.

Tak lupa pula Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada pimpinan dan staf Yayasan H. Aksa Mahmud, Rektor beserta civitas akademika Uiversitas Bosowa Makassar, dekan serta rekan-rekan di Fakultas Teknik dan Program studi Arsitektur Universitas Bosowa atas dukungan, bantuan, dan semangat yang di

epada penulis.



Semoga semua bantuan dan doa yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang baik dan setimpal dari Alah SWT Tuhan Yang Maha Esa. Aamiin.

Terakhir, Saya sangat menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis khususnya laporan penelitian disertasi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan tanggapan, saran-saran dan masukan yang membangun agar laporan penelitian disertasi ini dapat mengarahkan dan membimbing penulis untuk menyelesaikan dalam bentuk laporan disertasi yang lengkap dan utuh.

Akhirnya penulis berharap semoga laporan disertasi ini bermanfaat bagi kita semua dan dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan khususnya perkembangan ilmu Arsitektur di masa yang akan datang. Inshaa Allah semoga *“Ilmu dan amal padu mengabdi”*

Wassalam dan Terima Kasih

Makassar, 02 April 2024

  
**Muhammad Awaluddin Hamdy**



## ABSTRAK

**MUHAMMAD AWALUDDIN HAMDY.** Model Lingkungan Termal pada Bangunan dengan Elemen Air dan Vegetasi sebagai Pengubah Iklim Mikro di Iklim Tropis Panas dan Lembab. Dibimbing oleh **H. Baharuddin Hamzah** selaku Promotor, **Ria Wikantari** dan **Rosady Mulyadi** selaku Co Promotor.

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. Perpindahan panas antara lingkungan dan bangunannya dipengaruhi oleh fungsi modifikasi dan kontrol iklim (*climatic modifier*). Iklim tropis panas dan lembab merupakan tantangan bagi perancangan bangunan yang nyaman dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan lingkungan dan kenyamanan termal melalui pengaruh keberadaan elemen air dan vegetasi dalam bangunan sebagai pengubah iklim mikro pada iklim tropis panas dan lembab. Kajian ini meliputi studi literature sistematis, analisis lingkungan dan kenyamanan termal dengan parameter iklim dan personal, pergerakan udara, dan analisis pemodelan lingkungan dan kenyamanan termal untuk mendapatkan model kenyamanan dilingkungan termal tersebut dengan keberadaan air dan vegetasi dalam bangunan. Metode penelitian dengan pengukuran, kuisioner, analisis, dan simulasi komputer dengan *computational fluid dynamic* (CFD) untuk memodelkan dengan melibatkan perbandingan antara dua lokasi dan pengaturan yang berbeda, serta membandingkan kondisi termal sebelum dan setelah implementasi suatu perubahan dan modifikasi untuk mendapatkan prediksi lingkungan termal yang nyaman sesuai standard ASHRAE 55 2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor kenyamanan termal serta kualitas lingkungan dalam bangunan mengacu pada tingkat kenyamanan manusia yang dipengaruhi oleh temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin, jenis pakaian, dan aktivitas/kegiatan. Berdasarkan hasil simulasi lingkungan termal, suhu tertinggi pada Mal Nipah sebesar 32.2°C dan kelembaban 67% sementara pada Maxone hotel suhu tertinggi sebesar 33.3°C dan kelembaban 72%. Nilai persamaan dan hasil modifikasi ukuran ventilasi, prosentase vegetasi, dan peningkatan dimensi kolam kemudian berdasarkan hasil simulasi CFD-Envi Met 5.0 dengan target suhu 25°C dan kelembaban 70% di dapatkan penurunan termal pada Mal Nipah sebesar 24,9°C (7,3°C) dan peningkatan kelembaban sebesar 75,5% (8,5%) sementara pada Maxone hotel penurunan termal suhu sebesar 24,9°C (8,4°C) dan peningkatan kelembaban sebesar 75,0% (3%). Melalui penelitian evaluasi terhadap strategi model yang diimplementasikan, pengukuran lapangan dan pemantauan untuk memverifikasi kinerja sistem ventilasi, efek pendinginan dari air dan vegetasi, serta kondisi termal di dalam bangunan sehingga akan memberikan umpan balik yang berharga untuk memperbaiki dan mengoptimalkan solusi desain yang diimplementasikan serta dapat menjadi panduan berharga bagi arsitek dan perancang bangunan untuk menciptakan lingkungan dalam yang lebih nyaman, berkelanjutan, dan berdampak positif pada iklim mikro di dalam bangunan. Upaya ini memiliki manfaat untuk mengurangi penggunaan energi dan dampak lingkungan bangunan di iklim tropis yang semakin panas dan lembab.

**Kata Kunci:** Kenyamanan termal; lingkungan iklim tropis panas dan lembab; elemen air dan vegetasi; efek pendinginan pasif; bangunan komersial



## ABSTRACT

**MUHAMMAD AWALUDDIN HAMDY.** *Thermal Environment Model for Buildings with Water and Vegetation Elements as Microclimate Modifiers in Hot and Humid Tropical Climate. Supervised by H. Baharuddin Hamzah as Promoter, Ria Wikantari and Rosady Mulyadi as Co Promoters.*

*Thermal conditions in buildings are influenced by climatic conditions and determined by the thermal performance of the building itself. Thermal conditions are caused by the transfer of heat flow between the environment and the building. Heat transfer between the environment and the building is influenced by the function of climate modification and control (climatic modifier). Hot and humid tropical climate is a challenge for the design of comfortable and sustainable buildings. This research aims to model the environment and thermal comfort through the influence of the presence of water elements and vegetation in buildings as microclimate modifiers in hot and humid tropical climates. This study includes a systematic literature study, environmental analysis and thermal comfort with climate and personal parameters, air movement, and environmental modeling analysis and thermal comfort to obtain a model of comfort in the thermal environment with the influence of the presence of water and vegetation in the building. Research methodology with measurements, questionnaires, analysis, and computer simulation with computational fluid dynamic (CFD) to model by involving a comparison between two different locations and settings, as well as comparing thermal conditions before and after the implementation of a change and modification to get a prediction of a comfortable thermal environment according to ASHRAE 55 2020 standard. The results showed that the thermal comfort factor and environmental quality in the building refers to the level of human comfort that is influenced by air temperature, humidity, wind speed, type of clothing, and activities. Based on the simulation results of the thermal environment, the highest temperature at Nipah Mall is 32.2°C and humidity 67% while at Maxone hotel the highest temperature is 33.3°C and humidity 72%. The value of the equation and the results of the modification of the size of the ventilation, the percentage of vegetation, and the increase in the dimensions of the pool then based on the results of CFD-Envi Met 5.0 simulations with a target temperature of 25°C and humidity of 70% obtained a thermal decrease in Nipah Mall of 24.9°C (7.3°C) and an increase in humidity of 75.5% (8.5%) while at Maxone hotel a thermal decrease in temperature of 24.9°C (8.4°C) and an increase in humidity of 75.0% (3%). Through evaluation research of the implemented model strategies, field measurements, and monitoring to verify the performance of the ventilation system, the cooling effect of water and vegetation, and the thermal conditions inside the building, it will provide valuable feedback to improve and optimize the implemented design solutions and can be a valuable guide for architects and building designers to create a more comfortable, sustainable indoor environment and positively impact the microclimate inside the building. This has the benefit of reducing the energy use and environmental impact of buildings in an increasingly hot and humid tropical climate.*

**Keywords:** *Thermal comfort; hot and humid tropical climate environments; water and vegetation elements; passive cooling effects; commercial buildings*



# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PENGAJUAN .....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR ISTILAH .....	xiii

## BAB I PENDAHULUAN UMUM

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	6
1.3. Tujuan Penelitian .....	10
1.4. Manfaat Penelitian .....	10
1.4.1. Manfaat Teoritis .....	11
1.4.2. Manfaat Praktis .....	11
1.5. Batasan Penelitian.....	12
1.6. Metodologi Penelitian.....	18
1.7. Sistematika Pembahasan .....	19

## BAB II KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS

2.1. Kerangka Konseptual ..	21
2.1.1. Lingkungan Termal ..	24
2.1.2. Kenyamanan Termal ..	25
2.1.3. Standard ASHRAE 55-2020 .....	28



2.1.4. Indeks PMV, PPD, dan SET .....	34
2.1.5. CBE.. .....	34
2.1.6. Computational Fluid Dinamic (CFD).....	35
2.2. Hipotesis Penelitian ... .....	37

**BAB III TOPIK PENELITIAN 1 LINGKUNGAN TERMAL DAN KENYAMANAN TERMAL PADA BANGUNAN: REVIEW LITERATUR SISTEMATIK**

3.1. Abstrak .. .....	39
3.2. Pendahuluan ... .....	40
3.3. Metode Penelitian .....	42
3.4. Hasil dan Pembahasan .....	42
3.5. Kesimpulan ... .....	58
3.6. Daftar Pustaka ... .....	64

**BAB IV TOPIK PENELITIAN 2 ANALISIS LINGKUNGAN TERMAL PADA BANGUNAN DENGAN ELEMEN AIR DAN LANSEKAP SEBAGAI PENGUBAH IKLIM MIKRO DI IKLIM TROPIS PANAS DAN LEMBAB**

4.1. Abstrak ... .....	68
4.2. Pendahuluan ... .....	69
4.3. Metode .....	71
4.4. Hasil dan Pembahasan.....	73
4.5. Kesimpulan ... .....	83
4.6. Daftar Pustaka ... .....	84

**BAB V TOPIK PENELITIAN 3 PERGERAKAN UDARA PADA LINGKUNGAN TERMAL DALAM BANGUNAN DI IKLIM TROPIS PANAS DAN LEMBAB**

5.1. Abstrak ... .....	86
Pendahuluan ... .....	86
Metode Penelitian .....	89
Hasil dan Pembahasan .....	93



5.5. Kesimpulan ... ..	109
5.6. Daftar Pustaka ... ..	109

**BAB VI TOPIK PENELITIAN 4 PEMODELAN LINGKUNGAN DAN KENYAMANAN TERMAL PADA BANGUNAN DI IKLIM TROPIS YANG PANAS DAN LEMBAB**

6.1. Abstrak ... ..	112
6.2. Pendahuluan ... ..	112
6.3. Bahan dan Metode ... ..	115
6.4. Hasil dan Pembahasan ... ..	118
6.5. Kesimpulan ... ..	137
6.6. Daftar Pustaka ... ..	138

**BAB VII PEMBAHASAN UMUM**

7.1. Temuan Utama Penelitian ... ..	141
7.2. Temuan Utama Penelitian 1 ... ..	141
7.3. Temuan Utama Penelitian 2 ... ..	147
7.4. Temuan Utama Penelitian 3 ... ..	150
7.5. Temuan Utama Penelitian 4 ... ..	154
7.6. Pembahasan Temuan Penelitian ... ..	176
7.7. Triangulasi dan Validasi Penelitian ... ..	184
7.8. Temuan Empirik Penelitian ... ..	184
7.9. Kebaharuan Penelitian ... ..	190
8.0. Kedudukan Temuan Terhadap Teori ... ..	154

**BAB VIII KESIMPULAN UMUM**

6.1. Kesimpulan ... ..	155
6.2. Keterbatasan Penelitian ... ..	158
6.3. Saran-Saran ... ..	159
Rekomendasi ... ..	160



<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	105
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b> .....	120

## DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
<b>Tabel 1</b> Batas Kenyamanan Termal Menurut SNI 03-6572-2001 .....	40
<b>Tabel 2</b> Nilai insulasi jenis pakaian pria .....	50
<b>Tabel 3</b> Nilai insulasi jenis pakaian Wanita .....	50
<b>Tabel 4</b> Metabolisme rate berdasarkan aktivitas dalam ruang.....	52
<b>Tabel 5</b> Transmittan konstruksi pada dinding bangunan .....	53
<b>Tabel 6</b> Konsep dan pendekatan kenyamanan dan lingkungan termal.....	57
<b>Tabel 7</b> Penelitian terdahulu yang relevan dengan Riset Mendatang.....	60
<b>Tabel 8</b> Pergerakan udara dan waktu pengukuran kecepatan angin pada .....	77
<b>Tabel 9</b> Hasil Persamaan Regresi .....	81
<b>Tabel 10</b> Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE thermal comfort.....	82
<b>Tabel 11</b> Kondisi dan situasi obyek penelitian .....	92
<b>Tabel 12</b> Hasil Persamaan Regresi .....	96
<b>Tabel 13</b> Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE Mal Nipah.....	97
<b>Tabel 14</b> Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE Maxone hotel.....	97
<b>Tabel 15</b> Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE.	98
<b>Tabel 16</b> Pergerakan udara, waktu dan titik ukur Mal Nipah.....	101
<b>Tabel 17</b> Pergerakan udara dan waktu pengukuran pada area Maxone hotel..	103
<b>Tabel 18</b> Kondisi dan situasi obyek penelitian .....	116
Perbandingan hasil bagan Psychometrik dan simulasi suhu dan kelembaban .....	116
Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE .....	131



<b>Tabel 21</b>	Nilai PMV, PPD, & SET pada setiap waktu ukur berdasarkan CBE134	
<b>Tabel 22</b>	Konsep dan pendekatan kenyamanan dan lingkungan termal .....	143
<b>Tabel 23</b>	Variabel dan indikator pemodelan lingkungan termal .....	152
<b>Tabel 24</b>	Eksisting variabel bukaan ventilasi Mal Nipah .....	153
<b>Tabel 25</b>	Eksisting variabel bukaan ventilasi Hotel Maxon .....	154
<b>Tabel 26</b>	Eksisting variabel elemen air dan dimensi kolam Mal Nipah .....	154
<b>Tabel 27</b>	Eksisting variabel elemen air dan dimensi kolam Hotel Maxon .....	154
<b>Tabel 28</b>	Eksisting variabel vegetasi Mal Nipah .....	154
<b>Tabel 29</b>	Eksisting variabel vegetasi Hotel Maxon .....	155
<b>Tabel 30</b>	Indikator pemodelan lingkungan termal objek penelitian .....	155
<b>Tabel 31</b>	Variabel ventilasi dan indikator lingkungan termal Mal Nipah .....	156
<b>Tabel 32</b>	Variabel ventilasi dan indikator lingkungan termal Hotel Maxon ..	157
<b>Tabel 33</b>	Variabel dimensi kolam dan indikator Termal Mal Nipah .....	158
<b>Tabel 34</b>	Variabel dimensi kolam dan indikator Termal Hotel Maxon .....	159
<b>Tabel 35</b>	Variabel penambahan prosentase vegetasi dan indikator lingkungan Termal Mal Nipah .....	160
<b>Tabel 36</b>	Variabel penambahan prosentase vegetasi dan indikator lingkungan Termal Hotel Maxon .....	161
<b>Tabel 37</b>	Hasil variasi dan modifikasi variabel dan indikator lingkungan termal obyek penelitian .....	162
<b>Tabel 38</b>	Tabel analisis regresi linear berganda Mal Nipah .....	171
<b>Tabel 39</b>	Hasil Persamaan regersi linear Mal Nipah .....	173
<b>Tabel 40</b>	Hasil Persamaan regersi linear Hotel Maxone .....	174
<b>Tabel 41</b>	Variabel penambahan prosentase vegetasi dan indikator lingkungan termal Mal Nipah .....	175
<b>Tabel 42</b>	Variabel penambahan prosentase vegetasi dan indikator lingkungan termal Hotel Maxone .....	175
<b>Tabel 43</b>	Model Lingkungan dan kenyamanan termal Mal Nipah .....	176
<b>Tabel 44</b>	Model Lingkungan dan kenyamanan termal Hotel Maxone .....	176
	Roadmap Penelitian .....	191
	Tujuan dan temuan riset .....	196



## DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
<b>Gambar 1</b>	Lokasi obyek penelitian Mal Nipah (lokasi 1).....	10
<b>Gambar 2</b>	Lokasi obyek penelitian Hotel Maxone (lokasi 2).....	11
<b>Gambar 3</b>	Denah Bangunan dan penempatan instrumen penelitian .....	17
<b>Gambar 4</b>	Kerangka Pikir .....	29
<b>Gambar 5</b>	Skema Kerangka Konseptual.....	37
<b>Gambar 6</b>	Skema Hipotesis Penelitian .....	46
<b>Gambar 7</b>	Diagram psikometrik untuk perhitungan PMV, PPD, dan SET ...	47
<b>Gambar 8</b>	Orientasi bangunan persegi terhadap arah angin .....	52
<b>Gambar 9</b>	Pengaruh perletakan massa bangunan terhadap aliran udara.....	53
<b>Gambar 10</b>	Pengaruh perletakan dan orientasi bukaan terhadap angin. ....	54
<b>Gambar 11</b>	Tipe bukaan (Sumber: Beckett, 1974 dalam (Latifah et al. 2013).)	54
<b>Gambar 12</b>	Jarak pohon terhadap bangunan.....	54
<b>Gambar 13</b>	Jarak pohon terhadap bangunan dan pengaruhnya terhadap ventilasi alami.....	54
<b>Gambar 14</b>	Jenis - jenis solar shading devices sebagai pelindung terhadap radiasi matahari .....	56
<b>Gambar 15</b>	Alat Pengukuran .....	71
<b>Gambar 16</b>	Denah titik Pengukuran .....	72
<b>Gambar 17</b>	Alur pikir penelitia.....	73
<b>Gambar 18</b>	Lokasi Obyek Penelitian.....	74
<b>Gambar 19</b>	Posisi kolam, tanaman, dan air terjun buatan lantai LG dan Lantai 5.....	74
<b>Gambar 20</b>	Grafik hubungan titik ukur, jarak pengukuran ruang, iklim dan waktu pengukuran jam 09.00-12.00 WITA.....	75
<b>Gambar 21</b>	Grafik hubungan titik ukur, Jarak pengukuran ruang, iklim dan waktu pengukuran jam 13.00 – 15.00 Wita.....	76
<b>Gambar 22</b>	Grafik hubungan titik ukur, Jarak pengukuran ruang, iklim dan waktu pengukuran jam 15.00 – 17.00 WITA .....	77



<b>Gambar 23</b>	Pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada area Lantai LG dan Lantai 5 .....	78
<b>Gambar 24</b>	Grafik hubungan suhu/temperature, kelembaban, dan kecepatan angin pada area Lantai LG dan Lantai 5 .....	79
<b>Gambar 25</b>	Grafik hubungan suhu/temperature, kelembaban, dan kecepatan angin pada area Lantai LG dan Lantai 5 .....	80
<b>Gambar 26</b>	Grafik prosentase hasil Pengukuran sensasi termal responden pada area Lantai LG dan Lantai 5.....	
<b>Gambar 27</b>	Nilai perbandingan PMV hasil Pengukuran sensasi termal responden pada area Lantai LG dan Lantai 5.....	83
<b>Gambar 28</b>	Alat Pengukuran kecepatan angin.....	90
<b>Gambar 29</b>	Alat pengukuran suhu dan kelembaban relatif .....	91
<b>Gambar 30</b>	Alur pikir penelitian.....	91
<b>Gambar 31</b>	Denah dan titik pengukuran Mal Nipah.....	92
<b>Gambar 32</b>	Denah dan titik pengukuran Maxone hotel.....	93
<b>Gambar 33</b>	Grafik hubungan titik ukur, jarak pengukuran ruang, iklim dan waktu pengukuran .....	94
<b>Gambar 34</b>	Grafik hubungan suhu/temperature, kelembaban, suhu outdoor, dan kecepatan angin Mal Nipah dan Maxone hotel .....	
<b>Gambar 35</b>	Prosentase hasil Pengukuran sensasi termal responden.....	
<b>Gambar 36</b>	Grafik Prosentase hasil Pengukuran sensasi termal responden .....	95
<b>Gambar 37</b>	Grafik Prosentase hasil Pengukuran sensasi termal responden .....	96
<b>Gambar 38</b>	Grafik PMV Psychometrik perbandingan obyek penelitian .....	98
<b>Gambar 39</b>	Nilai perbandingan PMV hasil Pengukuran sensasi termal responden pada obyek penelitian .....	99
<b>Gambar 40</b>	Pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada Mal Nipah dan Maxone hotel.....	100
<b>Gambar 41</b>	Grafik pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan .....	102
<b>Gambar 42</b>	Posisi inlet-outlet pergerakan udara pada Mal Nipah.....	102
<b>Gambar 43</b>	Hasil simulasi CFD pergerakan udara pada Mal Nipah .....	104
<b>Gambar 44</b>	Grafik pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada Maxone hotel.....	105



<b>Gambar 45</b>	Posisi inlet-outlet pergerakan udara pada Maxone hotel .....	105
<b>Gambar 46</b>	Hasil Simulasi CFD Aliran Udara Ruang Maxone hotel.....	
<b>Gambar 47</b>	Grafik perbandingan laju kecepatan angin pada.....	106
<b>Gambar 48</b>	Hasil simulasi lingkungan termal Mal Nipah .....	107
<b>Gambar 49</b>	Hasil Simulasi Termal Hotel Maxone .....	108
<b>Gambar 50</b>	Instrumen pengukuran obyektif.....	116
<b>Gambar 51</b>	Denah dan titik penempatan alat penelitian.....	116
<b>Gambar 52</b>	Skema diagram simulasi CFD .....	118
<b>Gambar 53</b>	Lokasi penelitian Mal Nipah dan Maxone hotel.....	120
<b>Gambar 54</b>	Kondisi pengukuran rata-rata suhu, kelembaban, dan kecepatan angin pada dua obyek penelitian .....	121
<b>Gambar 55</b>	Grafik hubungan suhu/temperature, kelembaban, suhu outdoor, dan kecepatan angin Mal Nipah dan Maxone hotel .....	121
<b>Gambar 56</b>	Grafik Psychometrik karakteristik udara pada Mal Nipah dan Maxone hotel.....	123
<b>Gambar 57</b>	Pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin pada .....	
<b>Gambar 58</b>	Grafik pergerakan udara dan titik pengukuran .....	124
<b>Gambar 59</b>	Grafik pergerakan udara dan titik pengukuran kecepatan angin .	125
<b>Gambar 60</b>	Grafik PMV Psychometrik perbandingan obyek penelitian .....	126
<b>Gambar 61</b>	Nilai perbandingan PMV hasil Pengukuran sensasi termal.....	127
<b>Gambar 62</b>	Prosentase sensasi termal (TSV) responden .....	127
<b>Gambar 63</b>	Grafik regresi linear pengukuran sensasi termal responden .....	128
<b>Gambar 64</b>	Simulasi CFD suhu dan kelembaban udara Mal Nipah.....	129
<b>Gambar 65</b>	Simulasi CFD kecepatan dan aliran udara Mal Nipah.....	129
<b>Gambar 66</b>	Hasil Simulasi CFD suhu dan kelembaban Maxone hotel .....	130
<b>Gambar 67</b>	Simulasi CFD Kecepatan dan aliran udara Maxone hotel.....	131
<b>Gambar 68</b>	Variasi dan pemodelan Mal Nipah .....	132
<b>Gambar 69</b>	Pemodelan simulasi CFD suhu, kelembaban, dan pergerakan udara pada Mal Nipah.....	133
<b>Gambar 70</b>	Variasi dan pemodelan Maxone hotel .....	134
<b>Gambar 71</b>	Model CFD Simulasi Termal Maxone hotel.....	135



<b>Gambar 72</b>	Model hubungan antara elemen lingkungan, kenyamanan dan lingkungan termal.....	142
<b>Gambar 73</b>	Hasil regresi linear kenyamanan termal berdasarkan TSV.....	150
<b>Gambar 74</b>	Model hubungan pergerakan udara dan lingkungan termal .....	155
<b>Gambar 75</b>	Bagan model hubungan simulasi pemodelan kenyamanan dan lingkungan termal.....	155
<b>Gambar 76</b>	Grafik variasi modifikasi ventilasi Mal Nipah.....	162
<b>Gambar 77</b>	Grafik variasi modifikasi ventilasi Hotel Maxone .....	163
<b>Gambar 78</b>	Grafik variasi modifikasi dimensi air dan kolam Mal Nipah .....	165
<b>Gambar 79</b>	Model 3D Kolam Renang Mal Nipah.....	165
<b>Gambar 80</b>	Grafik variasi modifikasi dimensi air dan kolam Hotel Maxone	159
<b>Gambar 81</b>	Model 3D Kolam Renang Hotel Maxone.....	159
<b>Gambar 82</b>	Grafik variasi modifikasi Luasan Vegetasi Mal Nipah .....	161
<b>Gambar 83</b>	Grafik variasi modifikasi Luasan Vegetasi Hotel Maxone .....	162
<b>Gambar 84</b>	Model simulasi CFD Mal Nipah dan Hotel Maxone .....	162
<b>Gambar 85</b>	Hubungan antara topik-topik penelitian .....	166
<b>Gambar 86</b>	Hubungan antara topik-topik penelitian .....	166
<b>Gambar 87</b>	Hubungan antara topik-topik penelitian .....	166
<b>Gambar 88</b>	Hubungan antara topik-topik penelitian .....	166
<b>Gambar 89</b>	Diagram fishbone .....	166

## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman	
<b>LAMPIRAN 1</b>	Instrumen Penelitian Disertasi .....	183
<b>LAMPIRAN 2</b>	Kuisisioner Penelitian.....	184
<b>LAMPIRAN 3</b>	Data Survey Juni 2022 .....	186
<b>LAMPIRAN 4</b>	Data Kecepatan Angin .....	193
<b>LAMPIRAN 5</b>	Data Perhitungan Kenyamanan dan Lingkungan Termal .....	194
<b>LAMPIRAN 6</b>	Pengukuran Nipah Mall .....	195
<b>LAMPIRAN 7</b>	Hasil Pengukuran .....	198
<b>LAMPIRAN 8</b>	Pengukuran Maxone Hotel.....	200



LAMPIRAN 9	Penempatan Alat Pengukuran .....	201
LAMPIRAN 10	Data Hasil Pengukuran.....	202
LAMPIRAN 11	Model Simulasi Gambar .....	205
LAMPIRAN 12	Model Simulasi Termal.....	206
LAMPIRAN 13	Daftar Istilah, Singkatan, dan Simbol .....	208
LAMPIRAN 14	Jurnal Internasional dan Nasional Terbit .....	208

### DAFTAR ARTI ISTILAH, LAMBANG DAN SINGKATAN

Istilah, Singkatan, & Simbol	Arti/Keterangan
<i>M</i>	= Tingkat aktivitas ( $W/m^2$ )
<i>W</i>	= Aktivitas luar ( $W/m^2$ ), 0 untuk sebagian besar aktivitas
<i>fcl</i>	= Rasio permukaan tubuh orang ketika berpakaian dan tidak berpakaian
<i>tcl</i>	= Temperatur permukaan pakaian ( $^{\circ}C$ )
<i>tr</i>	= Temperatur radiasi ( $^{\circ}C$ )
<i>hc</i>	= Konvektif heat transfer dalam ( $W/m^2 K$ )
<i>ta</i>	= Temperatur udara ( $^{\circ}C$ )
<i>Pa</i>	= Kelembaban udara (Pa)
<i>Icl</i>	= Nilai insulasi pakaian (clo)
<i>V</i>	= Kecepatan aliran udara (m/s)
<i>TS</i>	= Sensasi termal (nd)
<i>T<sub>op</sub></i>	= suhu operatif ruang ( $^{\circ}C$ )
Lingkungan termal	= Lingkungan yang mempengaruhi manusia dalam hal kualitas termalnya, sehingga manusia dapat merasakan lingkungan tersebut sebagai lingkungan yang dingin atau panas.
Kenyamanan termal	= sebuah kondisi dari pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal.
Indoor	= Aktivitas atau kegiatan yang dilakukan di dalam ruangan. Istilah ini biasanya digunakan untuk menggambarkan segala sesuatu yang terjadi di dalam gedung, bangunan, atau ruang tertutup lainnya.
Outdoor	= Aktivitas atau kegiatan yang dilakukan di luar ruangan. Istilah ini biasanya digunakan untuk menggambarkan segala sesuatu yang terjadi di luar gedung, bangunan, atau ruang terbuka lainnya.
or	= Ruang-ruang yang terbentuk tidak dengan dinding massif,



	<p>melainkan batasan-batasan seperti void, railing, dinding transparan, dan beberapa dinding masif.</p> <p>= Ruang yang terbentuk tidak dengan hanya dinding masif, tetapi gabungan antara beberapa elemen masif, transparan, dan void. (Darmawan dan Wijaya, 2013)</p>
Karakteristik personal/pribadi	= Cara memandang ke obyek tertentu dan mencoba menafsirkan apa yang dilihatnya.
Suhu/temperatur	= Derajat panas suatu benda atau zat. besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda dan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah thermometer.
Kelembaban Udara	= Kandungan uap air di udara yang diukur berdasarkan perbandingan antara uap air dan uap air maksimal pada ruang dan suhu yang sama.
Suhu Radiasi	= Panas yang berasal dari radiasi objek yang mengeluarkan panas, salah satunya yaitu radiasi matahari. Suhu radiasi terkait dengan jumlah panas radiasi yang ditransfer dari suatu permukaan
Kecepatan angin	= Massa udara yang bergerak dari daerah bertekanan maksimum ke daerah bertekanan minimum secara horisontal.
Aktivitas	= Proses kegiatan yang diikuti dengan terjadinya perubahan tingkah laku, sebagai hasil interaksi dengan lingkungan.
Insulasi pakaian	= Isolasi termal yang disediakan oleh pakaian, biasanya dinyatakan dalam clo
Volume/debit	= Debit adalah kecepatan aliran air per satuan waktu. Volume: penghitungan seberapa banyak ruang yang bisa ditempati dalam suatu objek.
Jarak	= Pengukuran numerik yang menunjukkan seberapa jauh suatu benda berubah posisi melalui suatu lintasan tertentu.
Titik Pengukuran	= Proses sistematik dalam menilai dan membedakan sesuatu obyek yang diukur atau pemberian angka terhadap objek atau fenomena menurut aturan tertentu. Pengukuran tersebut diatur menurut kaidah-kaidah tertentu.
<i>Computational fluid dynamic</i> (CFD)	= Teknologi komputasi yang memungkinkan untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat-zat yang mengalir. CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan



		persamaan matematika (model matematika)
<i>Thermal Comfort Tool (CBE)</i>	=	Software atau aplikasi untuk menghitung kenyamanan termal serta dapat mengunggah sejumlah besar parameter kenyamanan dan alat ini akan secara otomatis menghitung indeks kenyamanan termal
Thermal sensation	=	Respon adaptif terhadap kenyamanan termal
Kenyamanan termal ( <i>Thermal comfort</i> )	=	Suatu kondisi di mana secara psikologis, fisiologis, dan pola perilaku seseorang merasa nyaman untuk melakukan aktivitas dengan suhu tertentu disebuah lingkungan.
<i>Thermal Preference</i>	=	Respon adaptif terhadap kondisi termal yang di inginkan.
<i>Thermal acceptability</i>	=	Respon adaptif terhadap keberterimaan kondisi termal
<i>Predicted Mean Vote (PMV)</i>	=	Indeks yang memprediksi nilai rata-rata pada sekumpulan kelompok manusia terhadap 7 skala sensasi termal, berdasarkan keseimbangan panas dari tubuh manusia.
<i>Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)</i>	=	Indeks yang menghasilkan presentasi prediksi orang yang merasa tidak nyaman dengan kondisi termal secara kuantitatif.
Simulasi	=	Metode pelatihan yang meragakan sesuatu dalam bentuk tiruan mirip dengan aslinya. Simulasi di KBBI yakni penggambaran suatu sistem atau proses dengan peragaan berupa model statistik atau pemeranan. Pelatihan dan pembelajaran untuk mengecek berbagai kekurangan, permasalahan, dan mendapatkan solusi di kemudian hari.
Pemodelan	=	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.
Model	=	Representasi yang disederhanakan dari suatu objek, sistem, atau konsep dalam bentuk yang dapat dipahami dan dianalisis. Model digunakan untuk menggambarkan karakteristik atau perilaku dari suatu hal dengan cara yang lebih terstruktur dan mudah dipelajari daripada objek aslinya. Model dapat berupa fisik, matematika, atau konseptual



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Arsitektur merupakan bidang yang berkaitan dengan kegiatan manusia, serta kebutuhannya terhadap sebuah ruang. Dalam proses perancangan ruang, baik ruang luar maupun ruang dalam banyak faktor yang harus diperhatikan. 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.

Kualitas lingkungan dalam ruangan mengacu pada kualitas lingkungan suatu bangunan dalam kaitannya dengan kesehatan dan kenyamanan orang-orang yang menempati ruang di dalamnya. Kualitas lingkungan tersebut di pengaruhi oleh banyak faktor, seperti kenyamanan termal dan lingkungan termal.

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, 2020). Menurut (Lippsmeier, 1994) kenyamanan termal dapat dipengaruhi oleh radiasi matahari, pantulan dan penyerapan, temperatur, kelembapan udara dan gerakan udara. Faktor kenyamanan termal selain pakaian dan aktifitas manusia dapat direkayasa dengan mendesain bangunan yang baik.

Dalam mendesain kondisi ruangan yang nyaman, beberapa faktor yang perlu diperhatikan salah satunya adalah kondisi iklim mikro seperti kelembaban, temperatur udara, temperatur radiasi, pergerakan udara, dan aspek fisiologis manusia didalam ruangan seperti metabolisme tubuh, aktifitas, dan pakaian yang di gunakan. Lingkungan termal dalam ruangan banyak dipengaruhi oleh iklim lokal dan pergerakan udara melalui bangunan untuk mengurangi kenyamanan dalam ruangan akibat kondisi panas berlebih di iklim tropis dan lembab (Latifah. N.L, dkk. 2013). Lingkungan dalam ruangan dipengaruhi oleh kondisi luar ruangan, maka faktor-faktor yang mempengaruhi



lingkungan termal dalam ruangan sangat penting dalam meningkatkan lingkungan yang nyaman dan sehat pada bangunan tempat tinggal (Setyowati, 2015).

Iklim mikro 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. Sedangkan 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, 1998) .

Kondisi iklim mikro utamanya temperatur dan kelembaban relatif udara tidak sepenuhnya berada pada ambang batas kenyamanan termal karena dipengaruhi oleh faktor beberapa kondisi langit dan musim. Pada kondisi langit cerah ketersediaan radiasi matahari cukup banyak dibanding pada kondisi langit berawan, medung ataupun hujan. Kondisi daya dukung iklim terutama temperatur dan kelembaban relatif udara di ruang luar bangunan tidak sepenuhnya dapat menunjang penerapan system pengkondisian pasif untuk mencapai kenyamanan termal dalam ruangan (Rahim et al., 2017). 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., 2016) yaitu: suhu, tekanan udara, pergerakan angin, kuantitas dan kualitas penyinaran/radiasi matahari, vegetasi, ketinggian tempat, kerapatan udara, dan ketersediaan air. Dalam penelitian zhang, dkk., (2022) menyatakan bahwa peningkatan kelembaban relatif dalam ruangan dapat secara efektif meningkatkan kenyamanan termal subjek secara keseluruhan. Oleh karena itu, saat mengatur suhu pemanasan

padatan populasi personel dan kelembaban relatif dalam ruangan yang telah diidentifikasi sebagai faktor kunci untuk meningkatkan lingkungan yang kelas (Moore & Lidz, 1994). Kuru et al. (2019) menemukan bahwa



lingkungan termal dalam ruangan berdampak besar pada kesehatan dan kesejahteraan pengguna.

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. Perpindahan panas antara lingkungan dan bangunannya dipengaruhi oleh fungsi modifikasi dan kontrol iklim. (*climatic modifier*).

Mempertimbangkan lingkungan termal dalam setiap desain merupakan hal yang sangat penting untuk kenyamanan dan kesehatan penghuni berkaitan dengan sensasi termal atau *thermal sensation vote* (TSV). Estimasi yang baik dalam perancangan tidak hanya dapat menyediakan kenyamanan penghuni, tetapi juga menentukan jumlah konsumsi energi oleh sistem pengkondisian udara. Salah satu konsep nyaman yang sangat penting adalah kenyamanan secara termal karena berpengaruh terhadap kualitas kerja dan istirahat. Sensasi termal didefinisikan sebagai kondisi perasaan yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal (ASHRAE standard 55, 2020).

Dalam pengembangan standar ASHRAE, penggunaan data yang berbasis pada daerah tropis lembab terutama Indonesia masih terbatas, sehingga standar tersebut masih dapat diperdebatkan untuk aplikasi di Indonesia. Diperlukan basis data yang cukup mewakili berbagai daerah di Indonesia dengan karakteristik populasi yang beragam. Disamping untuk mengembangkan model sensasi termal adaptif untuk Indonesia di iklim tropis panas dan lembab, penelitian ini juga dimaksudkan untuk ketersediaan data dalam upaya pengembangan standar sensasi termal secara internasional sehingga diharapkan standar tersebut akan dapat diaplikasikan dengan akurasi yang baik untuk Indonesia.

Indonesia belum mempunyai standar sensasi termal seperti format ISO 7730 dan ASHRAE Standard 55. Standar kenyamanan yang ada sekarang hanya SNI 03-6572-2001 tentang “Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara”. Aplikasi standar tersebut masih sangat terbatas untuk

digunakan sebagai acuan desain, terutama untuk bangunan dengan sistem alami. Standar ASHRAE standard 55-2020 mengenai “*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*” mengatakan bahwa jumlah



insulasi termal yang dikenakan seseorang memiliki dampak besar pada kenyamanan termal. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk mengetahui jenis pakaian yang memberikan jumlah insulasi yang berbeda. Dalam standar ini, insulasi pakaian dinyatakan sebagai nilai 'clo' (Icl).

Studi kenyamanan termal yang mengacu pada metode penilaian ASHRAE Standard 55-2020 dan ISO 7730 telah dilakukan Karyono dan Feriadi masing-masing untuk perkantoran di Jakarta dan perumahan di Yogyakarta. Sujatmiko, dkk, 2011 juga telah merintis menuju penentuan standar sensasi termal adaptif dengan penelitian pada rumah tinggal berventilasi alami di Bandung, Semarang dan Bekasi. Diperlukan banyak penelitian untuk mengembangkan standar sensasi termal untuk menjadi standar Indonesia. Hasil-hasil penelitian terhadap respon penghuni bangunan dari berbagai daerah mutlak diperlukan untuk memperkaya data base sehingga dapat merepresentasikan sebagai standar Indonesia. Salah satu luaran yang di harapkan dari penelitian ini adalah untuk menjadi bagian dari pengembangan standar sensasi termal di Indonesia dengan kontrol iklim (*climate modifier*) dengan elemen air dan lansekap sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan.

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 buku "*New Waterscapes*" *Planning, Building and Designing with Water*, Robert Woodward (2005) menuliskan mengenai perbedaan air yang didasarkan pada gerakannya. Air yang tenang dan diam disebut sebagai *blackwater*, karena permukaannya yang tidak tersentuh apapun dan tidak beriak, seluas apapun bentukan air tersebut. Istilah ini digunakan karena kita tidak dapat melihat secara jelas rupa air tersebut atau apa yang ada di balik air tersebut. Saat

an air ini hancur menjadi gelembung-gelembung ataupun riak, dengan terjadi pergerakan pada badan air, ini disebut sebagai *whitewater*.



Dalam bukunya *Water and Architecture*, Charles W. Moore (1994) 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. 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 (2001), Simbolisme air sebagai elemen desain merupakan interaksi dinamis antara bangunan dan air, padat dan cair, tegak dan datar.

Keberadaan elemen air dalam arsitektur dalam pertimbangannya dapat pula menjadi pengubah (*modifier*) iklim mikro dalam bangunan sehingga tercipta kondisi kenyamanan yang diinginkan berdasarkan pada iklim setempat.

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. Perpindahan panas antara lingkungan dan bangunannya dipengaruhi oleh fungsi modifikasi dan kontrol iklim (*climatic modifier*).

Pentingnya unsur air dianalisis berdasarkan pada tingkat makro pada skala perkotaan sebagai elemen estetis dalam arsitektur lansekap hingga tingkat mikro sebagai pengubah (*modifier*) iklim mikro untuk kenyamanan. Air memberi ekspresi suasana alam dan menyediakan substansi pada perubahan musim. Lansekap dibuat oleh air, seperti riam, laut yang muncul kembali atau ketenangan reflektif, menjadi saksi alam semesta yang bermanfaat (Wylson, 2013).

Air sebagai elemen telah digunakan dalam berbagai tingkatan mulai dari tingkat makro hingga mikro dan studi kasus membuktikan bahwa air sebagai badan air, tepi laut maupun sebagai pengubah (*modifier*) iklim mikro telah

menjadi ketergantungan dalam iklim tertentu (panas dan kering) di mana ia memberikan pendinginan yang efektif sehingga menciptakan kenyamanan. (Wylson, 2016)



Dalam penelitian Hendrawati, 2016 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.

Sebagai pengendali termal, panas matahari mengubah air menjadi uap yang dapat membuat suhu udara di lingkungan sekitar menjadi lebih sejuk. Ketika permukaan tanah di malam hari melepaskan udara panas, air akan menyerap panas itu sehingga tingkat suhu lingkungan relatif dapat diturunkan. Itulah sebabnya di wilayah yang beriklim panas air difungsikan sebagai pengendali termal (Hendrawati., 2016).

Dalam Penelitian (I Wayan Wirya Sastrawan 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 temperatur 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 lembab seperti di Indonesia yang memiliki kelembaban yang tinggi maka peningkatan kelembaban harus dihindarkan. Oleh sebab itu penggunaan elemen air harus mempertimbangkan adanya gerakan udara (angin) sehingga tidak terjadi peningkatan kelembaban. Angin adalah udara yang bergerak yang disebabkan adanya gaya yang diakibatkan perbedaan tekanan dan perbedaan suhu (Satwiko 2009). Kecepatan angin pada daerah beriklim tropis lembab cenderung sangat minim. Kecepatan angin umumnya terjadi pada siang hari atau pada musim pergantian. 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, dkk., 2022) bahwa kecepatan angin berhubungan erat dengan tingkat

dan bangunan yang ada pada lingkungan tersebut dan bentuk rumah elemen pembentuknya.



Penelitian yang dilakukan (Latif, Hamzah et al. 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.

Sebagai salah satu bentuk pendinginan pasif yang paling sederhana air membutuhkan energi untuk beralih dari cair menjadi uap, dan dibutuhkan energi dari udara dalam bentuk panas, hal inilah yang disebut dengan pendinginan evaporatif. Penerapan elemen air dapat memanfaatkan eksisting air berupa genangan waduk maupun dengan bentukan baru berupa kolam, air mancur, saluran air terbuka yang akan memiliki peran sebagai pengikat massa, pengendali termal, detail penyelesaian sudut, pelingkup massa dan *vocal point* bangunan (Rob Krier, 1996).

Mick Pearce arsitek *Council House 2* (CH2) mendesain bangunan menggunakan elemen air dingin (shower) yang dialirkan melalui menara setinggi 15 meter. Beberapa bagian di antaranya akan menguap sehingga mendinginkan ruangan di tiap-tiap lantai gedung. Sebagian lainnya akan berfungsi untuk mendinginkan panel-panel pendingin ruangan. Penggunaan air pada sistem ini

*reusable* (berulang). Uap air yang telah digunakan akan mengalami penurunan suhu dari 22 derajat celcius menjadi 25 derajat celcius, sehingga akhirnya ia akan naik ke atas. Turbin angin yang berada pada atap



gedung juga membantu proses tersebut. Kemudian uap air ditampung dalam sebuah kolam yang berada pada atap gedung untuk kemudian digunakan kembali.

British Pavillion (Grimshaw, 1989) adalah bangunan yang menggunakan air sebagai pendinginan bangunan. Strategi rancangan yang digunakan adalah mengantisipasi kondisi udara dengan cara menggunakan tabir air pada dinding sebelah timur yang berfungsi sebagai filter radiasi matahari di pagi hari untuk pendinginan bangunan tanpa menghilangkan potensi penerangan alami pagi hari, Tabir air dijatuhkan dari dinding bagian atas bangunan mengalir diseluruh dinding kaca sepanjang 65 meter ke kolam dasar bangunan. Aliran air sebagai dinding kaca berfungsi untuk pendinginan permukaan kaca itu sendiri serta menurunkan suhu lingkungan disekitar bangunan secara *evaporative*. Penggunaan tabir air pada dinding mampu menurunkan suhu udara di dalamnya hingga 10°C dan kelembaban menjadi 50% - 70%.

Penelitian yang dilakukan oleh *Departement of Alternative Energy Development an Efficiency (DEDE)*, Thailand dengan membuat proyek contoh desain setelah melalui serangkaian riset, menunjukkan bahwa suhu iklim mikro dapat diturunkan dengan cara pasif. Temperatur udara 35°C dan kelembaban 60% di iklim tropis, akan dapat direduksi oleh pohon-pohon besar yang berada di sekeliling bangunan, menjadi sekitar 34°C dan kelembaban 70%, jika ditambah dengan pohon-pohon kecil, maka temperatur udara menjadi 32°C dan meningkatkan kelembaban menjadi 80%. Penambahan elemen air, berupa kolam air sebagai sarana untuk mendinginkan aliran udara di sekitar, sehingga air yang ada di kolam akan menyerap panas dari udara yang mengalir dan secara otomatis udara yang mengalir akan lebih dingin. Vegetasi memiliki kemampuan dalam menurunkan temperatur udara tergantung dari jenis vegetasi dan penerapannya (Koerniawan, 2016). Menurut Adityo (2016), dalam penelitiannya di Yogyakarta menggunakan simulasi Envi-Met, mengatakan bahwa vegetasi pohon lebih efektif dalam menurunkan suhu kawasan daripada vegetasi *groundcover*. Pohon memiliki tajuk yang mampu menutupi area dibawahnya juga efektif dalam memantulkan

radiasi matahari, menyerap radiasi matahari dan membantu memecah arah angin. Dikatakan pula oleh Fibrianto dan Hilmy (2015) bahwa, bangunan yang terbentuk oleh vegetasi tidak memberikan pengaruh yang



berbeda terhadap penurunan temperatur udara. Di samping elemen arsitektur, elemen lansekap seperti pohon dan vegetasi juga dapat digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari. Keberadaan pohon secara langsung/tidak langsung akan menurunkan suhu udara di sekitarnya, karena radiasi matahari akan diserap oleh daun untuk proses fotosintesa dan penguapan. Efek bayangan oleh vegetasi akan menghalangi pemanasan permukaan bangunan dan tanah di bawahnya.

Indonesia sebagai negara dengan iklim tropis lembab mempunyai kendala utama dalam memperoleh kenyamanan termal yaitu: Suhu udara tinggi (dapat mencapai hingga 35°C, kelembaban udara tinggi (dapat mencapai angka 80%), kecepatan udara rendah serta radiasi matahari yang menyengat. Antisipasi kendala termal baik secara teknik pasif maupun teknik aktif di Indonesia bisa dilakukan dengan cara, mengurangi perolehan panas dari radiasi matahari, meningkatkan pendinginan secara pasif dan mengoptimalkan pencahayaan alami.

Setelah memahami isu latar belakang yang dikemukakan di atas dan fenomena berdasarkan identifikasi masalah serta beberapa penelitian terdahulu terkait dengan topik penelitian, maka di temukan beberapa celah penelitian (*research gap*) sebagai berikut hipotesis yang di bangun berdasarkan pada teori tentang pengaruh kecepatan angin terhadap keberadaan elemen air sebagai pengendali termal dalam ruang cenderung tidak signifikan dengan hasil pengukuran lapangan. Dalam penelitian (Hendrawati, 2016) tidak spesifik melakukan pengukuran pengaruh radiasi matahari terhadap lingkungan termal dalam bangunan serta analisis penelitian secara kuantitatif tapi tidak melakukan simulasi untuk menginvestigasi dan mempertegas tingkat termal terhadap variabel-variabel yang berpengaruh (Hendrawati, 2016; Narendra 2016). Beberapa penelitian sebelumnya yang membahas tentang elemen air sebagai modifier 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

ngin (Eropa) terutama dalam hal kelembaban udara serta penelitian air dengan fungsi termal analisisnya bersifat kualitatif (Siti Abadiyah, kemudian terkait dengan sensasi termal beberapa penelitian yang mengkaji



tentang sensasi termal dalam ruangan (Humairoh Razak, dkk. 2020; Firman Fadhly A., 2019) analisis dilakukan secara kuantitatif berdasarkan variabel iklim tapi tidak menganalisis secara personal berupa pakaian yang di gunakan maupun aktivitas yang dilakukan (dua unsur personal di hilangkan), keterbatasan alat ukur dan jumlah unit yang di gunakan serta model kinerja desain pasif bangunan yang berbeda-beda.

Berdasarkan pertimbangan teknik dan arsitektural, keberadaan air dan vegetasi dalam bangunan perlu di perhatikan, apakah menjadi bagian dari aspek estetis untuk kualitas visual bagi penghuni atau sebagai pengubah suhu dan kelembaban (*modifier mirco climate*). Hal inilah yang melatar belakangi diadakan penelitian yaitu pengaruh keberadaan elemen air dan vegetasi dalam bangunan sebagai pengubah (*modifier*), menurunkan suhu dan menaikkan kelembaban terhadap sensasi termal (TSV) pengunjung dalam bangunan, dengan subyek penelitian berada di Kota Makassar dengan studi kasus bangunan perbelanjaan modern Mal Nipah dan bangunan hunian Hotel Maxone.

Pusat perbelanjaan Mal Nipah Makassar merupakan kawasan pusat perbelanjaan modern dan perkantoran dengan konsep semi outdoor. Orientasi bangunan mengikuti orientasi matahari (Timur – Barat) dengan site menyerupai bentuk trapesium dengan ukuran bangunan 220 x 428 m<sup>2</sup>. Topografi mengikuti bentuk alami dan kontur site. Pada area rooftop terdapat area terbuka yang berfungsi sebagai taman dan roof garden, sedangkan di tengah bangunan selain sebagai area publik juga terdapat kolam dan air terjun. Pada bagian selasar dan tengah bangunan penutup atap di gunakan membran semi transparan yang berfungsi sebagai pencahayaan alami.



Gambar 1. Lokasi obyek penelitian Mal Nipah (lokasi 1)



Mal Nipah ini menggunakan jendela pasif dan pada bagian tampak bangunan dan menggunakan material kaca. Pada desain tampak mall nipah Makassar tidak seluruhnya full menggunakan kaca tapi dikombinasi dengan beton bertulang, tetapi lebih dominan menggunakan kaca, apabila dilihat dari tampak depan material kaca yang digunakan terlihat sedikit dikarenakan material kaca memiliki lapisan lagi yaitu berupa secondary skin. Pencahayaan alami pada mall ini menggunakan jendela kaca dan pada tampak luar di pasangi berupa *secondary skin* yang berfungsi untuk mencegah panasnya matahari pada bagian barat yang masuk ke dalam ruang.

Vegetasi pada Mal Nipah didominasi oleh tanaman kelapa (*Cocosnucifera*) dan ketapang (*Terminalia catappa*) yang tumbuh hampir di setiap bagian tapak, tumbuh menyebar, dan tidak beraturan. Tanaman lain yang tumbuh adalah mengkudu (*Morinda citrifolia*), Rambusa (*Passiflora foetida*), Vegetasi dalam bangunan berupa Palem (*Arecaceae*), Lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*), Pakis Boston (*Neprolepis exaltata*), Sri rejeki (*Chinese Evergreen*).

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 m<sup>2</sup>, memiliki kamar 155 unit dan dilengkapi dengan berbagai fasilitas penunjang.



Gambar 2. Lokasi obyek penelitian Hotel Maxone (lokasi 2)



an konsep arsitektur tropis, hotel Maxone lebih banyak memanfaatkan pencahayaan dan penghawaan alamiah. Sistem pencahayaan dan an 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 m<sup>2</sup>, Volume kolam pada saat terisi penuh ± 118,78 m<sup>3</sup> dengan suhu air kolam 26.6°C.

Berdasarkan pada celah penelitian tersebut, serta didasarkan pada *systematic literature review (SLR)* maka dapat di jelaskan *state of the art (SOTA)* dalam penelitian ini bahwa modifier iklim mikro dalam bangunan secara langsung maupun tidak langsung dapat meningkatkan efek pendinginan secara pasif. Keterkaitan antar tiap permasalahan baik dari perhitungan suhu, kelembaban, radiasi, kecepatan dan pergerakan udara yang merupakan lingkungan termal di kaitkan hubungannya dengan sensasi kenyamanan termal dalam bangunan.

Sebagian besar studi sensasi termal di Indonesia didasarkan pada parameter lingkungan termal berupa iklim mikro yaitu suhu udara, kelembaban relatif, suhu radiasi, dan kecepatan udara. Suhu operasi atau temperatur efektif yang merupakan kombinasi dari suhu outdoor, suhu indoor, dan keberadaan elemen air dan lansekap sebagai pengubah (*modifier*) untuk menilai sensasi termal (TSV) responden belum umum di Indonesia.

Atas dasar *research gap* tersebut diatas, maka kebaruan hasil penelitian (*research novelty*) yang diharapkan dalam penelitian ini adalah (a) Pengukuran lingkungan termal berdasarkan metode temperatur efektif (ET) dan hubungan keberadaan elemen air dan vegetasi dengan sensasi termal (*thermal Sensation Vote* (TSV)). (b) Model simulasi pergerakan udara dalam bangunan untuk memprediksi tingkat sensasi termal (TSV). (c) Temuan model pengendalian termal melalui penggunaan elemen air dan vegetasi pada bangunan serta keberlanjutan bangunan melalui pendekatan kenyamanan lingkungan termal. (d) Temuan model pengaruh elemen air dan vegetasi terhadap lingkungan dan

nan termal pengunjung berdasarkan faktor psikologis dan fisiologis mencapai tingkat keterterimaan sensasi termal (TSV) ng/penghuni.



## 1.2. Rumusan Masalah

Analisis lingkungan termal adalah proses untuk menggambarkan, menganalisis, dan membandingkan kondisi termal di suatu lingkungan. Ini melibatkan pengukuran dan penilaian berbagai parameter termal, seperti suhu udara, kelembapan, aliran udara, dan radiasi panas.

Permasalahan dan analisis lingkungan termal melibatkan perbandingan antara kondisi termal yang berbeda. Hal ini dapat melibatkan perbandingan antara dua lokasi atau pengaturan yang berbeda, atau membandingkan kondisi termal sebelum dan setelah implementasi suatu perubahan, seperti penggunaan elemen arsitektural berupa air dan vegetasi. Dengan melakukan studi perbandingan dan studi literatur sistematis dari berbagai disiplin ilmu, penulis menganalisis dan merancang sebuah metodologi penelitian melalui perhitungan lingkungan termal berdasarkan pada indeks ASHRAE 55 2020. Selanjutnya menghubungkan data tersebut dengan data kuesioner, suhu, kelembapan, radiasi matahari, dan aliran udara pada masing-masing sampel sebagai pembanding terhadap *Thermal Sensation Vote* (TSV). Kemudian memodelkan lingkungan dan kenyamanan termal tersebut dengan pengaruh keberadaan air dan vegetasi dalam bangunan sebagai pengubah iklim mikro pada iklim tropis panas dan lembab.

Berangkat dari uraian latar belakang dan identifikasi masalah tersebut diatas, maka pertanyaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pemaknaan kenyamanan dan lingkungan termal dalam bangunan berdasarkan pada iklim mikro di iklim tropis panas dan lembab?
- b. Bagaimanan kondisi lingkungan termal pada bangunan ditinjau dari parameter nilai suhu, suhu radiasi, kelembaban udara relatif, dan kecepatan angin berdasarkan nilai PMV, PPD, SET, dan TSV?
- c. Bagaimana model pergerakan udara terhadap lingkungan termal pada bangunan dengan elemen air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan?
- d. Bagaimana model lingkungan termal dalam bangunan dengan elemen air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro di iklim tropis panas dan lembab?



### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah pernyataan yang menjelaskan hasil yang ingin dicapai melalui kegiatan penelitian. Tujuan ini dapat beragam tergantung pada bidang dan konteks penelitian tersebut. Tujuan yang ingin di capai pada penelitian lingkungan termal yaitu:

- a. 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.

Studi literatur sistematis mengenai lingkungan termal dalam bangunan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai strategi dan teknik yang digunakan untuk menciptakan kenyamanan termal di dalam bangunan di wilayah iklim tropis panas dan lembab.

- b. Untuk menganalisis seberapa besar nilai suhu/temperatur dan kelembaban udara relatif dengan keberadaan elemen air sebagai modifier iklim mikro dalam bangunan.
- c. Untuk menganalisis sistem pergerakan udara yang berpengaruh terhadap keberadaan elemen air sebagai modifier iklim mikro dalam bangunan.
- d. Untuk membuat model simulasi lingkungan termal dalam bangunan dengan elemen air dan vegetasi sebagai pengubah iklim mikro. Simulasi ini untuk mengevaluasi faktor lingkungan dan kenyamanan termal di berbagai area dalam bangunan sehingga diperlukan analisis keberlanjutan.

### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian mencakup kontribusi terhadap pengetahuan, pemahaman, praktik, dan berkontribusi pada pengembangan pengetahuan dalam berbagai bidang. Hasil penelitian yang dipublikasikan memberikan wawasan baru, informasi, dan pemahaman yang dapat digunakan oleh komunitas ilmiah dan masyarakat umum..

#### 1.4.1. Manfaat Teoritis

Memperkaya dan mengembangkan khasanah ilmu pengetahuan bidang arsitektur sebagai bahan studi literatur dan studi pustaka untuk penelitian-penelitian lanjutan yang berhubungan dengan lingkungan termal dan



kenyamanan termal dengan elemen air sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan.

- b. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan standard kenyamanan termal Indonesia terutama untuk bangunan yang berorientasi *green building* dengan pendekatan berbasis elemen air.
- c. Memberikan kontribusi dalam pengembangan standard kenyamanan termal di Indonesia masa mendatang serta pengayaan data dalam penyempurnaan standard kenyamanan lingkungan termal dalam ASHRAE standard 55-2010, ISO 7730 2009 dan SNI 6390 - 2011.

#### 1.4.2. Manfaat Praktis

- a. Memberikan informasi dan masukan mengenai standarisasi lingkungan termal dan kenyamanan termal dalam bangunan dengan elemen air sebagai modifier iklim mikro dalam bangunan khususnya untuk bangunan-bangunan publik dan hunian.
- b. Memberikan model lingkungan termal berbasis elemen air sebagai pengubah iklim mikro dalam bangunan di iklim tropis lembab untuk keberlanjutan (*sustainability*) dalam pengelolaan dan manajemen yang berorientasi pada bangunan yang berkonsep *green building* dan evaluasi untuk melakukan penyesuaian pada desain bangunan, seperti peningkatan vegetasi atau penempatan elemen air yang lebih efektif, untuk mencapai kondisi termal yang lebih nyaman di iklim tropis panas dan lembab.
- c. Memberikan sumbangan pemikiran terhadap institusi sebagai perwujudan Tri Dharma perguruan tinggi serta memberikan wawasan pengetahuan terhadap konsep pembelajaran ilmu arsitektur yang berkaitan dengan kenyamanan lingkungan termal model pendekatan elemen air sebagai modifier iklim mikro dalam bangunan.

#### 1.5. Batasan Masalah Penelitian

Agar pelaksanaan dan hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian, maka penulis melakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

Penelitian yang diambil berupa posisi air dan vegetasi berada pada bangunan dalam bangunan .



- b. Variabel yang diukur pada penelitian adalah variabel posisi air dalam kolam maupun berupa fitur air yang bergerak dengan parameter jarak yang di tentukan.
- c. Dalam penelitian ini tidak memodelkan formulasi perhitungan pengendalian termal dengan mengacu pada perbedaan posisi air penuh pada kolam maupun air tidak terisi (kosong).
- d. Dalam penelitian ini tidak memformulasikan indeks vegetasi berdasarkan kehijauan tanaman tetapi hanya berdasarkan pendekatan tingkat kenyamanan secara termal.
- e. Perancangan model simulasi bersumber pada data yang telah dimiliki.
- f. Pengambilan data dalam ruangan di batasi hanya pada data suhu *outdoor* (luar ruangan) dan *indoor* (dalam ruangan), kelembaban, dan pergerakan udara.

## 1.6. Metodologi Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian survey dengan studi kasus bangunan dengan kategori pusat perbelanjaan dan hunian di Kota Makassar Provinsi Sulawesi Selatan yaitu Pusat perbelanjaan Nipah Mall dan Hunian Maxone Hotel, yang mempunyai kesamaan obyek penelitian yaitu berupa elemen air dan vegetasi dalam ruang maupun gedung sebagai objek penelitian. Studi kasus yang dimaksud adalah mengkaji berbagai hal yang berkaitan dengan lingkungan termal (iklim mikro), elemen air dan vegetasi sebagai modifier iklim mikro dalam bangunan, dan sensasi termal (TSV) berdasarkan adaptasi perilaku. Metode penelitian kuantitatif. Namun dalam pembahasannya digunakan *mix method* yaitu penggabungan metode kuantitatif dan kualitatif. Penelitian ini diawali pengukuran lapangan. Pengukuran dan pengambilan kuisisioner di laksanakan secara bersamaan dengan rentang waktu terpisah untuk efektifitas penggunaan alat ukur. Pelaksanaan pengukuran dan pengambilan kuisisioner pada bulan Juni (Mal Nipah) dan bulan Desember (Hotel Maxone) tahun 2022. Pengukuran dan pengambilan kuisisioner di lakukan selama 7 (tujuh) hari berturut-

gan rentang waktu pengukuran mulai pagi (jam 09-00 – 12.00), siang 13.00 – 14.00), dan sore hari (jam 15.00-17.00). Pengukuran dilakukan 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).

Empat alat Hobo Data Logger digunakan untuk mencatat suhu udara per detik dan kelembaban relatif pada subyek penelitian dengan Enam titik pengukuran, dan 2 alat anemometer digital untuk mencatat pergerakan dan kecepatan angin dengan lima titik pengukuran. Alat ukur termal indoor ditempatkan pada 100 millimeter di atas lantai mengikuti metode yang di gunakan oeh Wong dan Khoo, (2003) dan ditempatkan sesuai titik pengukuran. Subyek dalam penelitian ini adalah menggunakan sistem ventilasi alami tanpa penambahan pendingin ruangan. Letak denah bangunan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Denah bangunan dan penempatan instrumen penelitian

Rincian metodologi penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Penentuan topik penelitian: Mengembangkan rancangan penelitian analisis temperatur, kelembaban, suhu radiasi, dan kecepatan angin.
- b. Pemahaman dasar teori: Setelah menentukan topik penelitian, penulis mencari

bagai jurnal dan buku pegangan untuk memahami dasar teori sesuai dengan penelitian yang telah ditentukan. Dasar-dasar teori berupa review



literatur sistematis terkait dengan kenyamanan dan lingkungan termal, sensasi termal, analisis pergerakan udara, dan pemodelan lingkungan termal.

- c. Rancangan metodologi penelitian: Pada tahap ini, penulis menentukan metode, peralatan, dan serangkaian prosedur penelitian sesuai dengan tujuan penelitian dan kebutuhan yang harus dipenuhi. Penentuan berbagai prosedur penelitian tersebut didasarkan pada studi perbandingan dan studi literatur terhadap penelitian yang telah berlangsung dan standar yang tersedia. Aspek-aspek yang di pertimbangan yaitu Pengumpulan data iklim terkait suhu, kelembaban, intensitas sinar matahari, dan angin di wilayah penelitian. Identifikasi zona iklim mikro dalam bangunan yang memerlukan perubahan iklim mikro. Misalnya, area-area dengan suhu tinggi atau terkena sinar matahari langsung yang intens. Analisis dan evaluasi desain bangunan yang ada, termasuk orientasi bangunan, ukuran jendela, penutup jendela, dan penggunaan sistem pencahayaan alami. Identifikasi area-area yang memerlukan peningkatan perlindungan terhadap panas dan sinar matahari.
- d. Pemodelan lingkungan termal: Pada tahap ini peneliti merancang formulasi lingkungan termal berdasarkan pada simulasi *computational fluid dynamic* (CFD) untuk mendapatkan prediksi lingkungan termal yang nyaman. Aspek yang ditinjau yaitu penempatan elemen air: Perencanaan penempatan elemen air seperti air mancur, kolam, atau air terjun di dalam atau di sekitar bangunan. Analisis efek pendinginan yang dihasilkan oleh penguapan air dan dampaknya pada suhu dan kelembaban udara di sekitarnya. Penempatan vegetasi: Evaluasi penempatan vegetasi di sekitar bangunan untuk memberikan bayangan yang efektif pada area-area yang memerlukan perlindungan dari sinar matahari langsung.
- e. Analisis keberlanjutan: Evaluasi keberlanjutan penggunaan elemen air dan vegetasi dalam lingkungan bangunan.
- f. Pengambilan Keputusan: Pada tahap ini, penulis menarik kesimpulan dan mengajukan saran terkait penelitian yang telah dilakukan.

giatan penelitian dirancang sesuai dengan kerangka konseptual penelitian dan selaras. Adapun penjelasan mengenai kerangka konseptual tersebut lihat pada BAB II.



## 1.7. Sistematika Pembahasan

Penyusunan laporan hasil penelitian disertasi ini dilakukan dengan mengikuti aturan sistematika penulisan yang baku sehingga memudahkan dalam proses penyusunannya. Laporan ini terdiri dari 6 bab dengan rincian sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Merupakan bab pendahuluan yang menguraikan latar belakang permasalahan, identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dalam pengembangan khazanah ilmu pengetahuan dan teknologi, ruang lingkup dan sistematika penelitian disertasi.

### **BAB II KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS**

Merupakan bagan hasil rangkuman teori-teori yang mendasari penelitian dalam rangka memecahkan masalah penelitian disertai dengan narasi. Hipotesis merupakan proporsi keilmuan yang dilandasi oleh kerangka konseptual penelitian dengan penalaran deduksi. Hipotesis merupakan jawaban sementara secara teoritis terhadap permasalahan yang dihadapi, yang dapat diuji kebenarannya berdasarkan fakta empiris.

### **BAB III TOPIK PENELITIAN I**

Merupakan Review literatur yang memaparkan tentang teori-teori pendekatan yang berhubungan dengan judul disertasi. Review literature berdasarkan artikel dan jurnal. Studi literatur sistematis mengenai lingkungan termal dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai strategi dan teknik yang digunakan untuk menciptakan kenyamanan termal di dalam bangunan. Melalui review literatur ini juga menentukan topik maupun riset-riset di masa akan datang.

### **BAB IV TOPIK PENELITIAN II**

Merupakan penelitian yang memaparkan, menganalisis, dan menjawab tujuan penelitian kedua yaitu analisis parameter lingkungan termal.

### **BAB V TOPIK PENELITIAN III**

Merupakan penelitian yang memaparkan, menganalisis, dan menjawab penelitian ketiga yaitu model pergerakan udara pada lingkungan termal mendapatkan kenyamanan termal pengunjung.



## **BAB VI TOPIK PENELITIAN IV**

Merupakan penelitian yang memaparkan, menganalisis, dan menjawab tujuan penelitian keempat yaitu pemodelan lingkungan dan kenyamanan termal pada bangunan di Iklim Tropis Panas dan Lembab

## **BAB VII PEMBAHASAN UMUM**

Merupakan uraian, analisis kritis, temuan penelitian, dan menarik benang merah dari semua topik penelitian pada Bab III, IV, V, dan VI. Menguraikan masing-masing topik penelitian serta pembahasan temuan-temuan yang baru/novelty.

## **BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN**

Merupakan kesimpulan dan saran dari keseluruhan penelitian ini. Kesimpulan yang diambil meliputi rancangan penelitian secara garis besar dan hasil studi kasus sesuai dengan tujuan penelitian ini. Penulis juga mengajukan saran terkait dengan rancangan penelitian dan pembuatan model simulasi termal yang dijadikan sebagai studi kasus.

