



Analisis Kenyamanan Termal Ruang Luar di Kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado

Yohanes Richie Saputera Elias¹, Jeffrey I. Kindangen², Cynthia EV Wuisang³

^{1,2,3} Universitas Sam Ratulangi, Indonesia

Email: 2ichie3lias@gmail.com

Abstrak

Kawasan Pasar 45 di pusat Kota Manado merupakan pusat perdagangan utama yang ramai dikunjungi oleh banyak orang, termasuk pedagang, pengunjung, dan pekerja. Oleh karena itu, kenyamanan termal di ruang luar kawasan ini menjadi aspek penting untuk diperhatikan. Kondisi termal yang tidak nyaman dapat berdampak negatif pada kesejahteraan dan aktivitas masyarakat. Selain itu, pembangunan dan perubahan iklim global juga dapat memengaruhi kondisi termal di kawasan ini. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi dan menganalisis iklim mikro di kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado, dan menganalisis tingkat kenyamanan termal ruang luar di kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode kuantitatif, yang dilaksanakan melalui dukungan simulasi komputasi (eksperimental). Metode Pengumpulan Data analisis data akan menggunakan software ENVI-met. Semua proses pengolahan data akan di pusatkan pada ENVI-met Headquarter. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa iklim mikro pada kawasan Pasar 45 pusat Kota Manado yaitu suhu udara berkisar antara 28,5°C sampai dengan 36,8°C, kecepatan angin berkisar antara 0,1m/s sampai dengan 3,1m/s, kelembaban relative berkisar antara 44,0% sampai dengan 78,9%, dan suhu radiasi bola hitam berkisar antara 31,4°C sampai dengan 62,9°C oleh karena itu kenyamanan termal kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado berada pada tingkat hangat (warm), panas (hot), hingga sangat panas (very hot). Penelitian ini menyimpulkan bahwa kenyamanan termal di kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado berada pada tingkat yang kurang nyaman, yaitu hangat, panas, hingga sangat panas. Hal ini perlu menjadi perhatian dalam perencanaan dan pengembangan kawasan untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat, mempertahankan daya tarik pariwisata, dan mendukung pembangunan berkelanjutan di Kota Manado.

Kata kunci: kenyamanan termal, ruang luar, iklim mikro

Abstract

The Market 45 area in the center of Manado City is a major trading center that is crowded with many people, including traders, visitors, and workers. Therefore, thermal comfort in the outdoor space of this area is an important aspect to pay attention to. Uncomfortable thermal conditions can have a negative impact on people's well-being and activities. In addition, development and global climate change can also affect the thermal conditions in the region. The aim of this research is to identify and analyze the microclimate in the Pasar 45 area of downtown Manado and to analyze the level of outdoor thermal comfort in the Pasar 45 area of downtown Manado. The method used for this research is a quantitative method, carried out with the support of computational simulation (experimental). The data collection and analysis method will use ENVI-met software. All data processing will be centralized at the ENVI-met Headquarters. The results of this study show that the microclimate in the Pasar 45 area of downtown Manado has an air temperature ranging from 28.5°C to 36.8°C, wind speed ranging from 0.1m/s to 3.1m/s, relative humidity ranging from 44.0% to 78.9%, and black globe temperature ranging from 31.4°C to 62.9°C. Therefore, the thermal comfort level of the Pasar 45 area of downtown Manado is categorized as warm, hot, and very hot. This study concludes that thermal comfort in the Pasar 45 area of Manado City Center is at an uncomfortable level, namely warm, hot, to very hot. This needs to be a

concern in the planning and development of the area to improve the quality of life of the community, maintain tourism attractiveness, and support sustainable development in Manado City.

Keywords: Thermal Comfort, Outdoor Space, Microclimate

PENDAHULUAN

Kawasan Pasar 45 yang terletak di pusat kota Manado merupakan salah satu pusat perdagangan utama di Provinsi Sulawesi Utara. Pasar ini tidak hanya melayani kebutuhan sehari-hari penduduk setempat tetapi juga menjadi destinasi penting bagi wisatawan yang berkunjung ke Manado. Sebagai pusat aktivitas komersial yang sibuk, kawasan Pasar 45 sering menjadi tempat berkumpul bagi banyak orang, termasuk pedagang, pengunjung, dan pekerja. Oleh sebab itu kenyamanan termal di ruang luar kawasan ini menjadi aspek yang sangat penting untuk diperhatikan. Karena kenyamanan termal menjadi salah satu faktor kunci yang mempengaruhi pengalaman masyarakat umumnya yang beraktivitas di kawasan Pasar 45. Kondisi termal yang tidak nyaman, seperti suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, kelembaban yang tinggi, atau angin yang tidak sesuai, dapat berdampak negatif pada kesejahteraan manusia dan aktivitas sehari-hari mereka (Kim & Jong, 2020).

Pada saat yang sama, pembangunan dan perubahan iklim global juga dapat memengaruhi kondisi termal di kawasan luar Pasar 45 Manado. Peningkatan suhu rata-rata global dan perubahan pola cuaca dapat membawa konsekuensi serius bagi kenyamanan termal, kesehatan, dan produktivitas penduduk kota serta dampak ekonomi bagi pedagang di kawasan Pasar 45 (Liu et al., 2020) (Yilmaz et al., 2021).

Hasil observasi sementara di lapangan menunjukkan fenomena bahwa terdapat kecenderungan suhu udara yang cukup tinggi pada jam-jam sibuk siang hari, apalagi di musim panas. Terbatasnya keberadaan ruang terbuka hijau dapat diindikasikan sebagai salah satu penyebab cukup tingginya suhu di kawasan ini. Ruang terbuka hijau yang dimaksud di sini misalnya taman kota dan jalur sepanjang jalan. Sebagaimana dimaklumi bahwa eksistensi ruang terbuka hijau dengan pepohonannya akan memberikan naungan alami yang dapat menurunkan suhu udara di sekitarnya. Selain itu dengan keberadaan ruang terbuka hijau juga berdampak pada kualitas udara, karena pohon-pohon berperan dalam menyaring polusi udara dan menyaring oksigen.

Berkaitan dengan deskripsi di atas maka penelitian tentang analisis kenyamanan termal di ruang luar kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado menjadi sangat penting. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal, mengukur parameter termal seperti suhu, kelembaban, dan kecepatan angin. Melalui pemahaman yang lebih baik tentang kenyamanan termal di kawasan Pasar 45 Manado, maka dapat dikembangkan desain perencanaan yang tepat dalam membantu meningkatkan kualitas hidup penduduk setempat, mempertahankan daya tarik wisata destinasi ini, dan mendukung pembangunan berkelanjutan di kota Manado.

Dengan kata lain, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam konteks perencanaan tata kota dan adaptasi terhadap perubahan iklim yang semakin nyata di wilayah Manado sebagaimana yang terjadi di seluruh dunia. Terdapat penelitian sejenis yang berkaitan dengan kenyamanan termal pada ruang luar, diantaranya seperti yang dapat diuraikan di bawah ini. Simulasi ENVI-met Kenyamanan Termal Jalur Pejalan Kaki di Jalan Jenderal Sudirman, Yogyakarta.

Peneli Prasetyo Febriarto, RR. Sophia Ratna Haryati, Muhammad Zaki Lokus Jalur Pejalan Kaki di Jalan Jenderal Sudirman, Yogyakarta Fokus memberikan gambaran kenyamanan termal iklim mikro jalur pejalan kaki (Febriarto et al., 2023) (Nolasari et al., 2023). Penelitian dilakukan dengan metode simulasi software ENVI-met 3.1 dan pengukuran empirik. Hasil berdasarkan hasil simulasi ENVI-met dan di ringkas menjadi tabel simulasi sesuai 6 titik mulai hari senin sampai dengan hari minggu rata-

rata pada pukul 07.00 angka termal temperatur efektif pada angka 21-23.4oC TE dalam kondisi nyaman dijalur pejalan kaki (Perini et al., 2017) (Aghamolaei et al., 2021). Pada siang hari pada hari senin sampai minggu terjadi peningkatan termal pada siang hari pada pukul 13.00 WIB di jalur pejalan kaki pada angka 24-25,3oC TE dalam kondisi nyaman dikarenakan disepanjang jalur pejalan kaki terdapat vegetasi yang menaungi jalur pejalan kaki sehingga memberi keteduhan dari paparan sinar matahari pada siang hari. Pada sore hari terjadi penurunan termal pada sore hari pada hari senin sampai minggu pada pukul 16.00 WIB pada angka 22-24 oC TE dalam kondisi nyaman. Menurut Lippsmeier batas kenyamanan termal berada pada suhu antara 20 - 26 oC TE. Tinggi rendahnya termal juga dipengaruhi oleh tutupan vegetasi dan tutupan lahan.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi dan menganalisis iklim mikro di kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado, dan menganalisis tingkat kenyamanan termal ruang luar di kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado. Terdapat beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini, antara lain secara teoritis hasil penelitian bermanfaat sebagai aktualisasi dan pengembangan bidang ilmu Arsitektur khususnya yang berhubungan dengan konsep/teori kenyamanan termal serta konsep/teori pengembangan kawasan/wilayah. Secara empirik hasil penelitian ini memberikan masukan ilmiah yang positif kepada Pemerintah Kota Manado dalam rangka kebijakan perencanaan, penataan, dan pengembangan kawasan ruang luar Pasar 45 Kota Manado ke depan.x.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berfokus untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal ruang luar di Kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado. Tujuannya adalah memperoleh hasil dari kondisi yang ada di lapangan terhadap kondisi kenyamanan termal dan tingkat kelembaban. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode kuantitatif, yang dilaksanakan melalui dukungan simulasi komputasi (eksperimental). Simulasi merupakan metode penelitian yang terkontrol dalam konteks riil (data yang sesuai fakta sebenarnya) yang bertujuan mempelajari interaksi fluid (dinamis) dalam suatu pengaturan (Lin et al., 2012) (Chan & Chau, 2021).

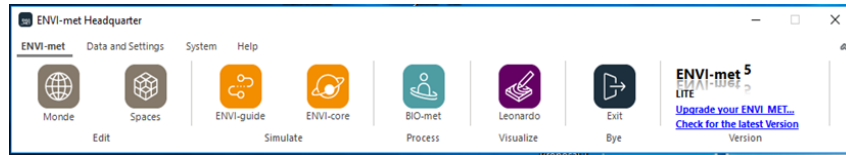
Penelitian ini dilaksanakan melalui 2 (dua) tahapan utama. Tahap yang pertama adalah pengukuran empirik, yang bertujuan mengetahui kondisi iklim mikro dan analisis iklim mikro (eksisting) dengan melakukan pendataan terhadap suhu temperatur, kelembaban dan kecepatan angin serta mendata tinggi bangunan, material bangunan yang diukur di lokasi penelitian (Prasetia, 2022). Data-data dan variabel tambahan juga diukur seperti vegetasi bertajuk rindang, sedang, serta elemen vegetasi yang lain. Selain itu juga pendataan elemen perkerasan, tanah pelataran, serta elemen air pada lansekap. Tahap kedua, yakni dengan melakukan studi simulasi melalui sistem ENVI-met untuk mengetahui pengaruh eksisting tata ruang sekitar Pusat Kota Manado terhadap kondisi unsur kenyamanan termal.

Penelitian ini dilaksanakan melalui dukungan simulasi komputasi dengan software ENVI-met berupa permodelan iklim mikro 3 (tiga) dimensional yang dirancang untuk permodelan bentuk bangunan, ruang antara pada pelataran, dan permukaan selubung bangunan pada bangunan di sekitar Kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado (Senasaputro et al., 2020). Selain itu unsur vegetasi dan paving block pada pelataran sekitar pendopo dan interaksi udara pada iklim skala mikro melalui resolusi khas 0.5-10 m pada area penelitian dengan rentan waktu tertentu. Engine atau mekanik simulasi permodelan dalam ENVI-met ini didasari oleh hukum mekanika fluida dan termodinamika (Senasaputro et al., 2020).

Penelitian di laksanakan di Kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado yang berpusat di Taman Kesatuan Bangsa (TKB), dengan studi kasus kawasan ruang luar. Karena berkaitan dengan pemetaan,

maka data yang diambil tersebar di berbagai area pada kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado. Ruang luar yang diteliti dibatasi pada ruang luar terbuka, seperti koridor jalan, lapangan terbuka area parkir, dan sebagainya yang mencakup tempat terjadinya aktifitas manusia

Metode Pengumpulan Data analisis data akan menggunakan software ENVI-met. Semua proses pengolahan data akan di pusatkan pada ENVI-met Headquarter.



Gambar 1. ENVI-met Headquarter
Sumber Penulis

Metode analisis data menggunakan Iklim Mikro dan Skala Kenyamanan setiap titik pengukuran merupakan atribut/data dari titik pengukuran tersebut (Muhaling et al., 2017) (Mustika & Sastrawan, 2017) (Munawaroh & Elbes, 2019). Dengan menggunakan software ENVI-met, titik-titik pengukuran tersebut dijadikan dasar pembuatan peta kenyamanan termal (Febriarto et al., 2023) (Yagi, 2023). Kemudian dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan mengenai tingkat kenyamanan termal yang ada. Nantinya hasil akhir dari pengukuran kenyamanan termal dengan menggunakan software ENVI-met akan dibandingkan dengan Physiologically equivalent temperatures (PET) Matzarakis.

PET (°C)	Thermal perception	Grade of physiological stress
< 4	Very cold	Extreme cold stress
4.1 – 8.0	Cold	Strong cold stress
8.1 – 13.0	Cool	Moderate cold stress
13.1 – 18.0	Slightly cool	Slight cold stress
18.1 – 23.0	Comfortable	No thermal stress
23.1 – 29.0	Slightly warm	Slight heat stress
29.1 – 35.0	Warm	Moderate heat stress
35.1 – 41.0	Hot	Strong heat stress
>41.0	Very hot	Extreme heat stress

Gambar 2. PET Matzarakis
Sumber : Matzarakis 1999

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Hasil Simulasi ENVI-met dengan Rayman



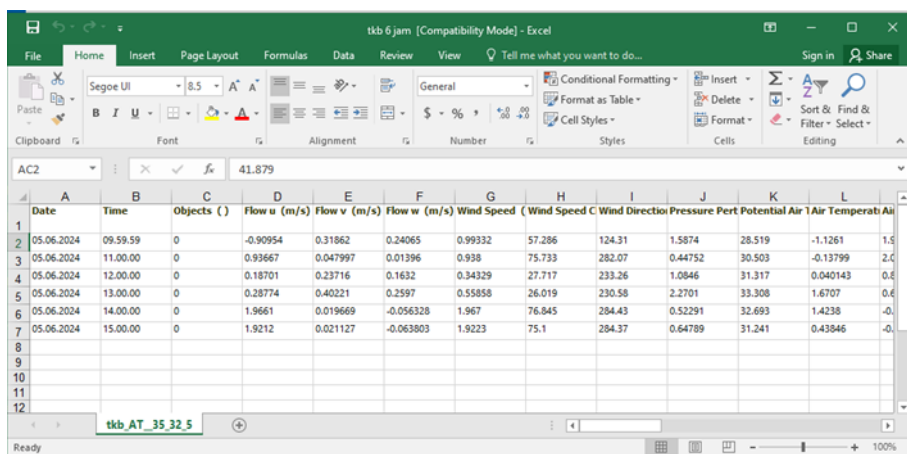
Gambar 3. Grafik data hasil simulasi
Sumber: Penulis

Tampilan data hasil simulasi dalam bentuk grafik dengan rentang waktu jam 10:00 Wita sampai dengan jam 15:00 Wita. Data pada grafik yang ditampilkan sesuai dengan parameter yang dipilih berupa suhu udara, kelembaban relative, kecepatan angin dan suhu radiasi bola hitam.



Gambar 4. Tampilan 3d hasil simulasi
Sumber : Penulis

Hasil dari simulasi juga dapat ditampilkan dalam gambaran model 3D yang menunjukkan situasi dan kondisi dari hasil simulasi pada lokasi pengukuran. Hal ini dapat dijadikan sebagai pendoman dalam mengilustrasikan fenomena atau kondisi yang terjadi di lokasi.



Gambar 5. Hasil simulasi dalam bentuk excel
Sumber : Penulis

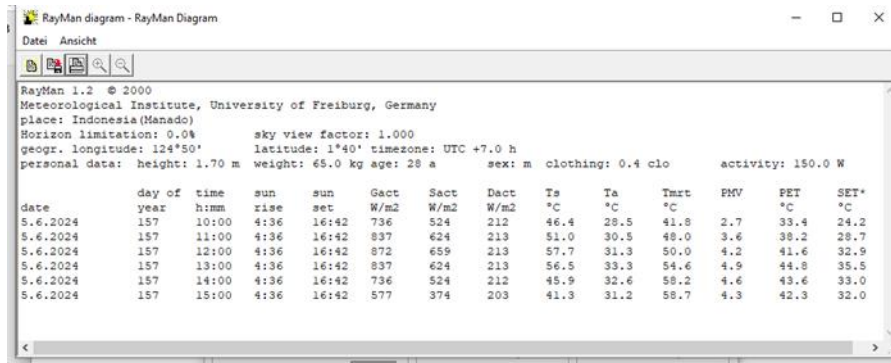
Data dari hasil simulasi ENVI-met dapat kita olah dengan memasukan data hasil simulasi ke dalam Microsoft Exel. Selanjutnya penulis akan mengambil parameter untuk suhu udara, kelembaban relative, kecepatan angin, dan suhu radiasi bola hitam. Untuk data simulasi yang di ambil akan disamakan dengan titik pengukuran secara manual. Berikut merupakan data hasil simulasi sesuai dengan titik pengukuran.

Tabel 1. Data Hasil Simulasi ENVI-met

Jam (Wita)	Suhu Udara Ta (°C)	Kelembaban Relatif RH (%)	Kecepatan Angin V (m/s)	Radiasi Bola Hitam Tmrt (°C)
10:00	28.5	78.9	0.9	41.8
11:00	30.5	69.3	0.9	48.0
12:00	31.3	64.6	0.3	50.0
13:00	33.3	62.6	0.5	54.6
14:00	32.6	64.1	1.9	58.2
15:00	31.2	67.7	1.9	58.7

Sumber: Penulis

Angka hasil simulasi ENVI-met yang telah keluar dalam bentuk excel kemudian di hitung menggunakan RayMan untuk mendapatkan nilai (Physiologically equivalent temperatures) PET Matzarakis.



Gambar 6. Hasil Perhitungan Rayman dari data simulasi
Sumber: Penulis

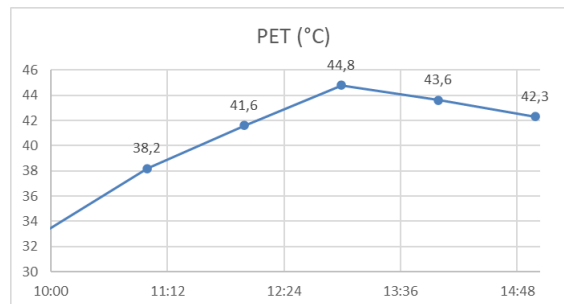
Setelah mendapatkan hasil perhitungan melalui RayMan, langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil perhitungan menggunakan data yang diperoleh secara pengukuran manual terhadap data yang diperoleh melalui simulasi ENVI-met

Berikut merupakan table hasil perhitungan RayMan dengan menggunakan data hasil simulasi ENVI-met dengan durasi selama 6 jam dengan jarak 1 jam untuk tiap simulasi dimulai pada pukul 10:00 Wita hingga 15:00 Wita.

Tabel 2. Skala Hasil perhitungan Rayman

Time	PMV	PET (°C)	SET (°C)
10:00	2.7	33.4	24.2
11:00	3.6	38.2	28.7
12:00	4.2	41.6	32.9
13:00	4.9	44.8	35.5
14:00	4.6	43.6	33.0
15:00	4.3	42.3	32.0

Sumber: Penulis



Gambar 7. Grafik PET hasil Simulasi
Sumber: Penulis

Nilai minimal PET berada pada suhu 33,4°C, kemudian nilai maksimal PET pada suhu 44,8°C dengan nilai rata-rata berada pada angka 40,6°C.

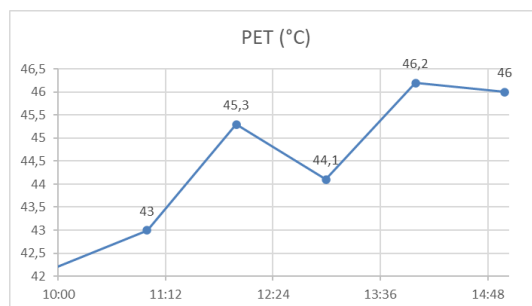
Komparasi PET Hasil Simulasi ENVI-met terhadap Pengukuran Manual

Berikut merupakan table hasil perhitungan RayMan dengan menggunakan data hasil survey secara manual sebagai pembanding dengan durasi selama 6 jam dengan jarak 1 jam untuk tiap simulasi dimulai pada pukul 10:00 Wita hingga 15:00 Wita.

Tabel 3. Skala Hasil Rayman menggunakan pengukuran manual

Time	PMV	PET (°C)	SET (°C)
10:00	4.3	42.2	33.0
11:00	4.4	43.0	33.5
12:00	4.9	45.3	34.5
13:00	4.7	44.1	35.0
14:00	5.0	46.2	36.2
15:00	4.9	46.0	35.5

Sumber: Penulis



Gambar 8. Grafik PET pengukuran manual
Sumber : Penulis

Nilai minimal PET berada pada suhu 42,2°C, kemudian nilai maksimal PET pada suhu 46,2°C dengan nilai rata-rata berada pada angka 44,4°C.

Setelah memperoleh hasil untuk kedua jenis parameter, maka langkah selanjutnya adalah membandingkan kedua hasil pengukuran tersebut untuk mengetahui keralistisan hasil yang di dapat melalui proses simulasi ENVI-met. Hasil dari perhitungan juga di ukur menggunakan persepsi termal berdasarkan PET Matzarakis untuk mengetahui tingkat Grade of physiological stress pada lokasi pengukuran (Sharmin et al., 2017).

PET (°C)	Thermal perception	Grade of physiological stress
< 4	Very cold	Extreme cold stress
4.1 – 8.0	Cold	Strong cold stress
8.1 – 13.0	Cool	Moderate cold stress
13.1 – 18.0	Slightly cool	Slight cold stress
18.1 – 23.0	Comfortable	No thermal stress
23.1 – 29.0	Slightly warm	Slight heat stress
29.1 – 35.0	Warm	Moderate heat stress
35.1 – 41.0	Hot	Strong heat stress
>41.0	Very hot	Extreme heat stress

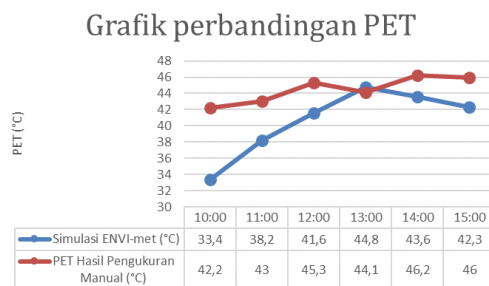
Gambar 9. PET Matzarakis
Sumber: Matzarakis 1999

Tabel 4. Perbandingan PET antara hasil simulasi dan manual

Waktu	PET Hasil Simulasi ENVI-met (°C)	Tingkat kenyamanan	PET Hasil Pengukuran Manual (°C)	Tingkat kenyamanan
10:00	33.4	Warm	42.2	Very hot
11:00	38.2	Hot	43.0	Very hot
12:00	41.6	Very hot	45.3	Very hot
13:00	44.8	Very hot	44.1	Very hot
14:00	43.6	Very hot	46.2	Very hot
15:00	42.3	Very hot	46.0	Very hot

Sumber: Penulis

Jika tingkat kenyamanan termal dari lokasi mengikuti persepsi dari PET Matzarakis, Maka dapat di ambil kesimpulan bahwa persepsi kenyamanan thermal di lokasi berada pada kondisi panas atau dalam Grade of physiological strees berada pada skala extreme heat stress.



Gambar 10. Perbandingan nilai PET antara 2 jenis data
Sumber : Penulis

Berdasarkan tabel dan grafik perbandingan antara kedua parameter yang ada dapat dilihat sebagai berikut:

- Pada pukul 10:00 hasil PET simulasi ENVI-met berada pada angka 33,4°C sedangkan PET pengukuran secara manual berada pada angka 42,2°C. Kedua data tersebut memiliki selisih suhu 8,8°C.
- Pada pukul 11:00 hasil PET simulasi ENVI-met berada pada angka 38,2°C sedangkan PET pengukuran secara manual berada pada angka 43°C. Kedua data tersebut memiliki selisih suhu 4,8°C.
- Pada pukul 12:00 hasil PET simulasi ENVI-met berada pada angka 41,6°C sedangkan PET pengukuran secara manual berada pada angka 45,3°C. Kedua data tersebut memiliki selisih suhu 3,7°C.
- Pada pukul 13:00 hasil PET simulasi ENVI-met berada pada angka 44,8°C sedangkan PET pengukuran secara manual berada pada angka 44,1°C. Kedua data tersebut memiliki selisih suhu 0,7°C.
- Pada pukul 14:00 hasil PET simulasi ENVI-met berada pada angka 43,6°C sedangkan PET pengukuran secara manual berada pada angka 46,2°C. Kedua data tersebut memiliki selisih suhu 2,6°C.
- Pada pukul 15:00 hasil PET simulasi ENVI-met berada pada angka 42,3°C sedangkan PET pengukuran secara manual berada pada angka 46°C. Kedua data tersebut memiliki selisih suhu 3,7°C.

Kesimpulan yang dapat di ambil adalah meskipun terdapat beberapa selisih angka dalam satuan derajat celcius pada perbandingan kedua pengukuran tersebut namun dalam skala kenyamanan PET

keduanya didominasi oleh kondisi very hot atau extreme heat stress.

Pengukuran dan Perhitungan Iklim Mikro dari 6 Titik Lokasi

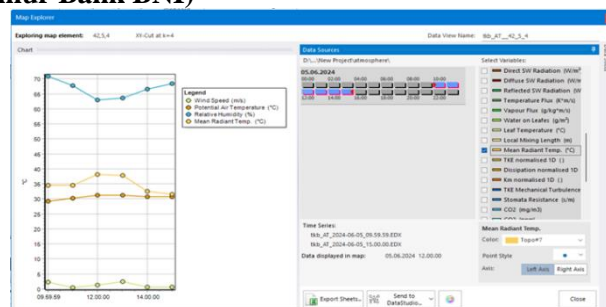
Setelah melakukan perbandingan hasil perhitungan maka langkah selanjutnya melakukan pengukuran pada beberapa titik dengan memanfaatkan data hasil dari simulasi menggunakan software ENVI-met. Pada pengukuran kali ini penulis menentukan untuk mengambil data dari 6 titik lokasi yang ada. Berikut merupakan titik lokasi pengambilan data menggunakan simulasi ENVI-met:

- Titik 1 berlokasi di pedestrian samping timur Bank BNI
- Titik 2 berlokasi di samping barat area parkir Bank BNI
- Titik 3 berlokasi di pedestrian dekat tugu Batalion Worang
- Titik 4 berlokasi di sisi timur Taman Kesatuan Bangsa (TKB)
- Titik 5 berlokasi di pertigaan jalan Suprpto
- Titik 6 berlokasi di pedestrian depan gedung Presiden



Gambar 11. Peta titik Lokasi simulasi ENVI-met
Sumber : Penulis

a. Titik 1 (Samping timur Bank BNI)



Gambar 12. Grafik Data titik 1
Sumber : Penulis

Tabel 5. Data hasil simulasi titik 1

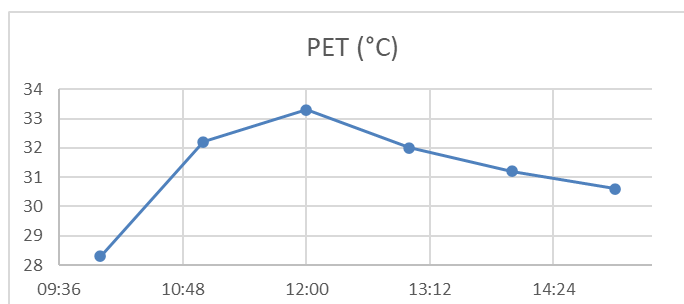
Jam (Wita)	Suhu Udara Ta (°C)	Kelembaban Relatif RH (%)	Kecepatan Angin V (m/s)	Radiasi Bola Hitam Tmrt (°C)
10:00	29.1	70.8	2.3	34.5
11:00	30.1	67.7	0.4	34.5
12:00	31.2	62.9	1.3	38.1
13:00	31.2	63.6	2.4	37.8
14:00	30.8	66.6	0.7	32.6
15:00	30.7	68.4	0.7	31.4

Sumber: Penulis

Tabel 6. Hasil perhitungan Titik 1

Time	PMV	PET (°C)	SET (°C)	Thermal perception
10:00	2.1	28.3	18.6	Slightly warm
11:00	2.6	32.2	23.0	Warm
12:00	2.9	33.3	23.3	Warm
13:00	2.8	32.0	22.0	Warm
14:00	2.5	31.2	21.6	Warm
15:00	2.4	30.6	20.9	Warm

Sumber: Penulis

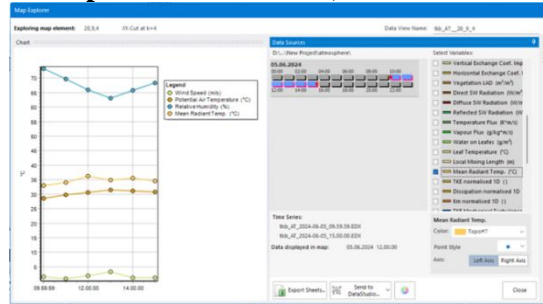


Gambar 13. Grafik PET Titik 1

Sumber : Penulis

Tingkat kenyamanan termal pada lokasi 1 dapat dikategorikan hangat untuk durasi selama 6 jam dari jam 10:00 sampai 15:00 Wita. Dengan nilai PET terendah pada suhu 28,3°C dan nilai PET tertinggi pada suhu 33,3°C.

b. Titik 2 (Samping barat area parkir Bank BNI)



Gambar 14. Grafik Data titik 2

Tabel 7. Data hasil simulasi titik 2

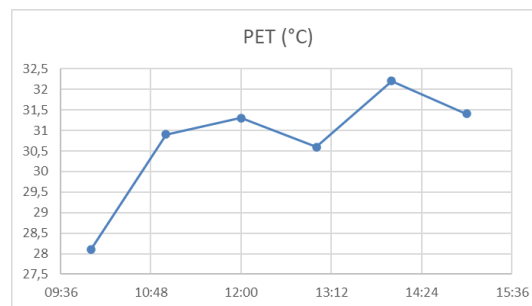
Jam (Wita)	Suhu Udara Ta (°C)	Kelembaban Relatif RH (%)	Kecepatan Angin V (m/s)	Radiasi Bola Hitam Tmrt (°C)
10:00	28.5	73.2	1.5	33.0
11:00	29.7	69.7	0.8	34.0
12:00	30.6	65.9	1.8	36.3
13:00	31.4	63.1	3.1	34.8
14:00	31.1	65.8	1.2	35.5
15:00	30.7	68.4	1.2	34.6

Sumber: Penulis

Tabel 8. Hasil perhitungan Titik 2

Time	PMV	PET (°C)	SET (°C)	Thermal perception
10:00	1.9	28.1	18.5	Slightly warm
11:00	2.4	30.9	21.3	Warm
12:00	2.6	31.3	21.4	Warm
13:00	2.6	30.6	20.5	Warm
14:00	2.7	32.2	22.3	Warm
15:00	2.6	31.4	21.6	Warm

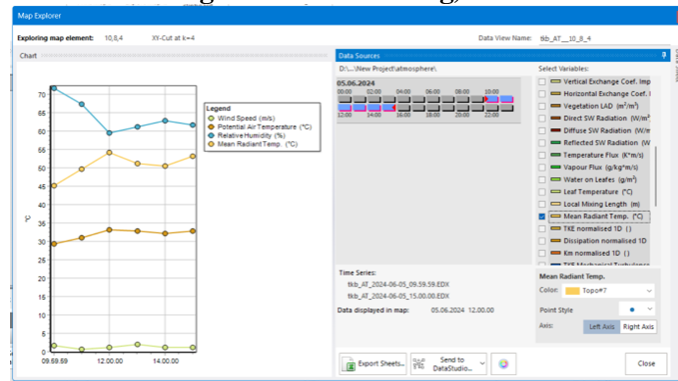
Sumber: Penulis



Gambar 15. Grafik PET Titik 2

Tingkat kenyamanan termal pada lokasi 2 dapat dikategorikan hangat untuk durasi selama 6 jam dari jam 10:00 sampai 15:00 Wita. Dengan nilai PET terendah pada suhu 28,1°C dan nilai PET tertinggi pada suhu 32,2°C

c. Titik 3 (Pedestrian dekat Tugu Batalion Worang)



Gambar 16. Grafik Data titik 3

Tabel 9. Data hasil simulasi titik 3

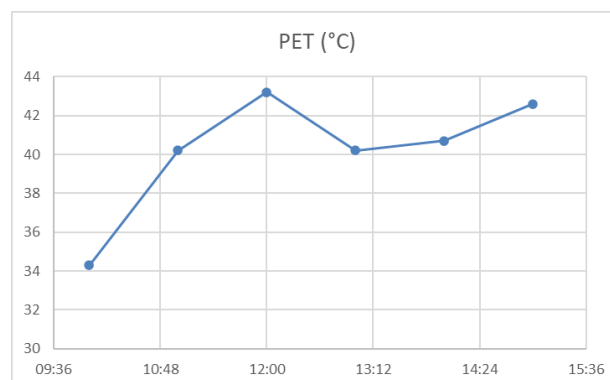
Jam (Wita)	Suhu Udara Ta (°C)	Kelembaban Relatif RH (%)	Kecepatan Angin V (m/s)	Radiasi Bola Hitam Tmrt (°C)
10:00	29.2	71.7	1.5	45.1
11:00	31.0	67.4	0.6	49.6
12:00	33.1	59.5	1.1	54.1
13:00	32.7	61.1	1.9	51.1
14:00	32.2	62.9	1.0	50.5
15:00	32.8	61.6	1.0	53.2

Sumber: Penulis

Tabel 10. Hasil perhitungan Titik 3

Time	PMV	PET (°C)	SET (°C)	Thermal perception
10:00	2.9	34.3	24.7	Warm
11:00	4.0	40.2	30.9	Hot
12:00	4.5	43.2	33.0	Very hot
13:00	4.1	40.2	29.7	Hot
14:00	4.1	40.7	30.8	Hot
15:00	4.4	42.6	32.6	Very hot

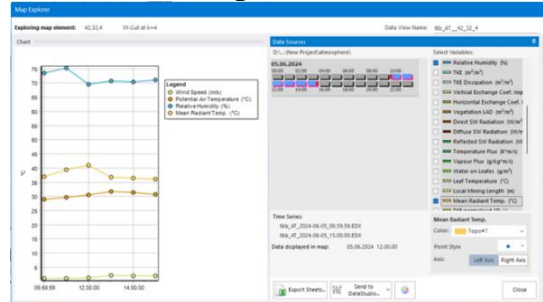
Sumber: Penulis



Gambar 17. Grafik PET Titik 3

Tingkat kenyamanan termal pada lokasi 3 dapat dikategorikan panas untuk durasi selama 6 jam dari jam 10:00 sampai 15:00 Wita. Dengan nilai PET terendah pada suhu 34,3°C dan nilai PET tertinggi pada suhu 43,2°C

d. Titik 4 (Sisi timur Taman Kesatuan Bangsa)



Gambar 18.. Grafik Data titik 4

Tabel 11. Data hasil simulasi titik 4

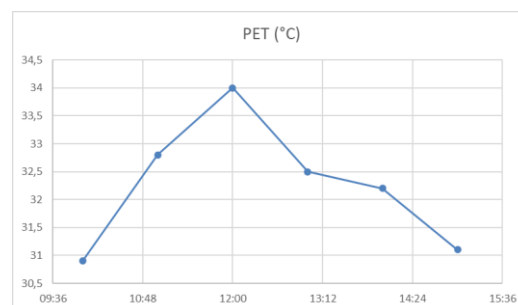
Jam (Wita)	Suhu Udara Ta (°C)	Kelembaban Relatif RH (%)	Kecepatan Angin V (m/s)	Radiasi Bola Hitam Tmrt (°C)
10:00	29.0	73.6	1.2	37.0
11:00	29.6	75.2	1.1	39.4
12:00	30.5	69.5	1.3	40.9
13:00	31.7	70.7	2.2	36.8
14:00	31.5	70.3	2.1	36.4
15:00	30.6	71.1	2.0	36.1

Sumber : Penulis

Tabel 12. Hasil perhitungan Titik 4

Time	PMV	PET (°C)	SET (°C)	Thermal perception
10:00	2.4	30.9	21.4	Warm
11:00	2.7	32.8	23.3	Warm
12:00	3.0	34.0	24.2	Warm
13:00	2.9	32.5	22.7	Warm
14:00	2.8	32.2	22.3	Warm
15:00	2.6	31.1	21.3	Warm

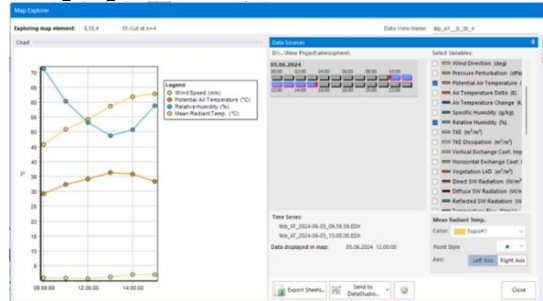
Sumber : Penulis



Gambar 19. Grafik PET Titik 4

Tingkat kenyamanan termal pada lokasi 4 dapat dikategorikan hangat untuk durasi selama 6 jam dari jam 10:00 sampai 15:00 Wita. Dengan nilai PET terendah pada suhu 30,9°C dan nilai PET tertinggi pada suhu 34,0°C

e. Titik 5 (Pertigaan jalan Suprpto)



Gambar 20. Grafik Data titik 5

Tabel 13. Data hasil simulasi titik 5

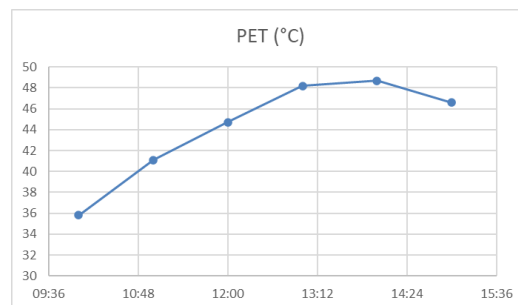
Jam (Wita)	Suhu Udara Ta (°C)	Kelembaban Relatif RH (%)	Kecepatan Angin V (m/s)	Radiasi Bola Hitam Tmrt (°C)
10:00	29.1	71.2	0.9	45.7
11:00	32.3	60.3	0.9	50.8
12:00	34.2	53.2	0.7	54.2
13:00	36.3	48.6	1.2	58.6
14:00	35.8	50.8	1.9	61.8
15:00	33.3	58.9	1.9	62.7

Sumber : Penulis

Tabel 14. Hasil perhitungan Titik 5

Time	PMV	PET (°C)	SET (°C)	Thermal perception
10:00	3.1	35.8	26.4	Hot
11:00	4.2	41.1	31.2	Very hot
12:00	4.8	44.7	34.8	Very hot
13:00	5.5	48.2	37.2	Very hot
14:00	5.6	48.7	37.1	Very hot
15:00	5.1	46.6	35.5	Very hot

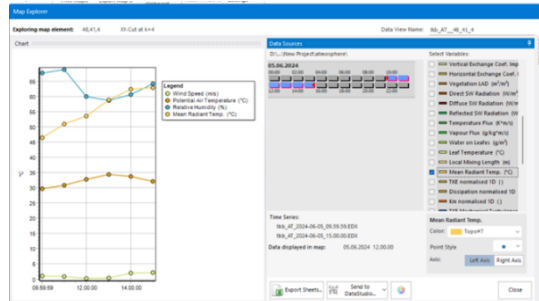
Sumber : Penulis



Gambar 21. Grafik PET Titik 5

Tingkat kenyamanan termal pada lokasi 5 dapat dikategorikan sangat panas untuk durasi selama 6 jam dari jam 10:00 sampai 15:00 Wita. Dengan nilai PET terendah pada suhu 35,8°C dan nilai PET tertinggi pada suhu 48,7°C

f. Titik 6 (Pedestrian depan gedung Presiden)



Gambar 22. Grafik Data titik 6

Tabel 15. Data hasil simulasi titik 6

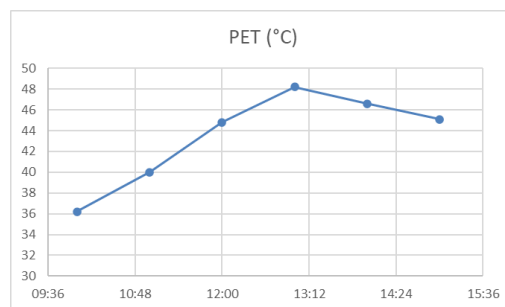
Jam (Wita)	Suhu Udara Ta (°C)	Kelembaban Relatif RH (%)	Kecepatan Angin V (m/s)	Radiasi Bola Hitam Tmrt (°C)
10:00	29.7	67.8	1.1	46.4
11:00	30.8	68.8	0.9	50.9
12:00	32.7	60.0	0.2	53.5
13:00	34.4	58.6	0.4	58.9
14:00	33.6	60.7	2.0	62.4
15:00	32.1	64.2	2.1	62.9

Sumber : Penulis

Tabel 16. Hasil perhitungan Titik 6

Time	PMV	PET (°C)	SET (°C)	Thermal perception
10:00	3.2	36.2	26.6	Hot
11:00	3.9	40.0	30.4	Hot
12:00	4.8	44.8	36.4	Very hot
13:00	5.5	48.2	39.0	Very hot
14:00	5.2	46.6	35.6	Very hot
15:00	4.8	45.1	34.3	Very hot

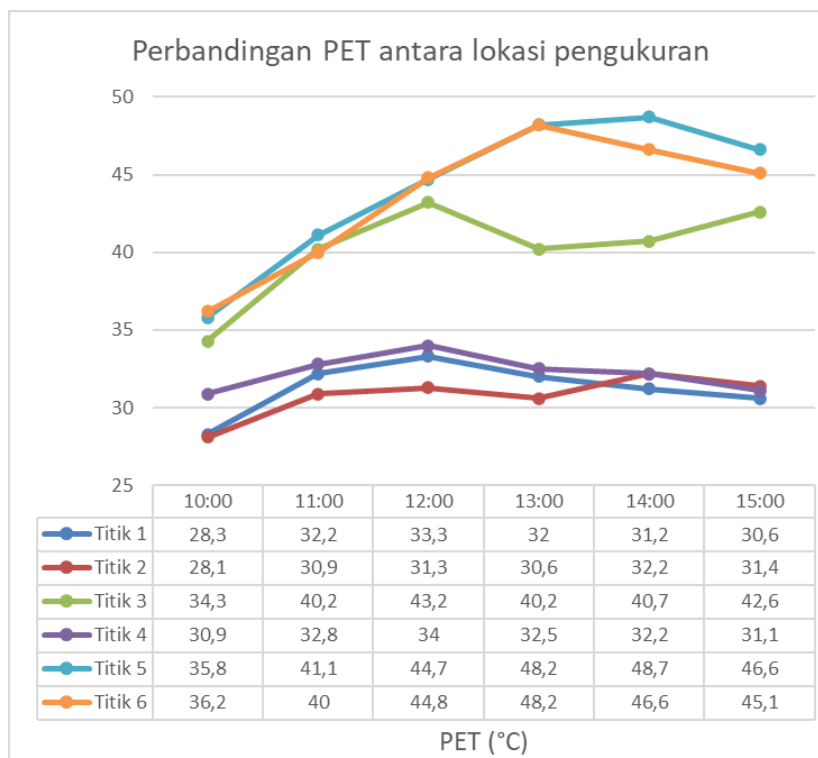
Sumber : Penulis



Gambar 23. Grafik PET Titik 6

Sumber : Penulis

Tingkat kenyamanan termal pada lokasi 6 dapat dikategorikan sangat panas untuk durasi selama 6 jam dari jam 10:00 sampai 15:00 Wita. Dengan nilai PET terendah pada suhu 36,2°C dan nilai PET tertinggi pada suhu 48,2°C



Gambar 24. Perbandingan PET pada 6 titik pengukuran
Sumber: Penulis

Dari grafik dan table di atas yang merupakan hasil pengukuran dan perhitungan dari 6 titik lokasi yang diteliti dapat diambil kesimpulan berupa:

- Titik 1 didominasi dengan skala termal hangat (warm) dengan skala PET tertinggi pukul 12:00 di angka 33,3°C dan skala PET terendah pukul 10:00 di angka 28,3°C.
- Titik 2 didominasi dengan skala termal hangat (warm) dengan skala PET tertinggi pukul 14:00 di angka 32,2°C dan skala PET terendah pukul 10:00 di angka 28,1°C.
- Titik 3 didominasi dengan skala termal panas (hot) dengan skala PET tertinggi pukul 12:00 di angka 43,2°C dan skala PET terendah pukul 10:00 di angka 34,3°C.
- Titik 4 didominasi dengan skala termal hangat (warm) dengan skala PET tertinggi pukul 12:00 di angka 34,0°C dan skala PET terendah pukul 10:00 di angka 30,9°C.
- Titik 5 didominasi dengan skala termal sangat panas (very hot) dengan skala PET tertinggi pukul 14:00 di angka 48,7°C dan skala PET terendah pukul 10:00 di angka 35,8°C.
- Titik 6 didominasi dengan skala termal sangat panas (very hot) dengan skala PET tertinggi pukul 13:00 di angka 48,2°C dan skala PET terendah pukul 10:00 di angka 36,2°C.

Pembahasan

Iklim Mikro Pada Kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado

Pengukuran suhu udara pada lokasi yang diteliti menggunakan 2 macam metode. Yang pertama dengan cara menggunakan simulasi perangkat software ENVI-met dan yang kedua dengan cara manual

menggunakan instrument alat untuk mengumpulkan data secara langsung.

Berdasarkan data hasil pengukuran iklim mikro yang dilakukan pada setiap titik mulai pukul 10:00 Wita sampai dengan pukul 15:00 Wita. Masing-masing Lokasi titik pengukuran menunjukkan angka relative iklim mikro pada area ruang terbuka Kawasan pasar 45 Pusat Kota Manado.

a. Suhu Udara

- 1) Pengukuran suhu udara pada titik lokasi penelitian secara manual pada jam 09:30 sampai 15:30 menggunakan Thermometer. Dari hasil pengukuran tersebut di dapat nilai rata rata suhu udara berada di angka 34,0°C. Suhu udara tertinggi terjadi pada pukul 12:20 dimana nilai suhu udara pada lokasi mencapai angka 36,8°C sedangkan suhu udara terendah terjadi pada pukul 09:30 dimana nilai suhu pada lokasi berada pada angka 32,4°C.
- 2) Pada tahapan perbandingan hasil pengukuran antara pengukuran secara manual terhadap simulasi ENVI-met dengan durasi 6 jam antara pukul 10:00 sampai 15:00, hasil simulasi memiliki suhu rata-rata di angka 31,2°C dengan suhu terendah pada pukul 10:00 di angka 28,5°C dan suhu tertinggi pada pukul 13:00 di angka 33,3°C sedangkan pengukuran manual memiliki suhu rata-rata di angka 33,8°C dengan suhu terendah pada pukul 15:00 di angka 33,6°C dan suhu tertinggi pada pukul 12:00 di angka 34,3°C.
- 3) Pada pengukuran dari 6 titik di lokasi menggunakan simulasi ENVI-met, Suhu terendah berlokasi di titik 2 yaitu area samping barat parkir Bank BNI pada jam 10:00 Wita dengan suhu udara yang berada pada angka 28,5°C. Hal ini disebabkan karena area tersebut memiliki pohon besar yang rindang sebagai peneduh. Suhu tertinggi berlokasi di titik 5 yaitu area pertigaan jalan Suprpto pada jam 13:00 Wita dengan suhu udara yang mencapai angka 36,3°C. Hal ini disebabkan karena sebagian area tersebut memiliki tutupan aspal dan tidak adanya vegetasi pada wilayah tersebut sebagai peneduh.

b. Kelembaban Relatif

- 1) Pengukuran kelembaban relatif pada titik lokasi penelitian secara manual pada jam 09:30 sampai 15:30 menggunakan Thermometer. Dari hasil pengukuran tersebut di dapat nilai rata rata kelembaban relatif berada di angka 44,0%. kelembaban relatif tertinggi terjadi pada pukul 09:30 dimana nilai kelembaban relatif pada lokasi mencapai angka 54,9% sedangkan kelembaban relatif terendah terjadi pada pukul 11:10 dan 11:20 dimana kelembaban relatif pada lokasi berada pada angka 38%.
- 2) Pada tahapan perbandingan hasil pengukuran antara pengukuran secara manual terhadap simulasi ENVI-met dengan durasi 6 jam antara pukul 10:00 sampai 15:00, hasil simulasi memiliki kelembaban relatif rata-rata di angka 67,8% dengan kelembaban relatif terendah pada pukul 13:00 di angka 62,6% dan kelembaban relatif tertinggi pada pukul 10:00 di angka 78,9% sedangkan pengukuran manual memiliki kelembaban relatif rata-rata di angka 44,5% dengan kelembaban terendah relatif di pada pukul 11:00 di angka 40,5% dan kelembaban relatif tertinggi pada pukul 13:00 di angka 48,7%.
- 3) Pada pengukuran dari 6 titik di lokasi menggunakan simulasi ENVI-met, kelembaban relatif terendah berlokasi di titik 5 yaitu area pertigaan jalan Suprpto pada jam 13:00 Wita dengan kelembaban relatif yang berada pada angka 48,6%. Kelembaban relatif tertinggi berlokasi di titik 4 yaitu sisi timur TKB pada jam 11:00 Wita dengan kelembaban relatif yang mencapai angka 75,2%.

c. Kecepatan angin

- 1) Pengukuran kecepatan angin pada titik lokasi penelitian secara manual pada jam 09:30 sampai 15:30 menggunakan Anemometer. Dari hasil pengukuran tersebut di dapat nilai rata rata kecepatan angin berada di angka 0,4m/s. Kecepatan angin tertinggi terjadi pada pukul 15:25 dimana nilai

kecepatan angin pada lokasi mencapai angka 1,3m/s sedangkan kecepatan angin terendah terjadi pada pukul 09:45, 10:20, 12,15, 12:50, 13:05, 13:10, 13:25, dan 14:45 dimana kecepatan angin pada lokasi berada pada angka 0,1m/s.

- 2) Pada tahapan perbandingan hasil pengukuran antara pengukuran secara manual terhadap simulasi ENVI-met dengan durasi 6 jam antara pukul 10:00 sampai 15:00, hasil simulasi memiliki kecepatan angin rata-rata di angka 1,0m/s dengan kecepatan angin terendah pada pukul 12:00 di angka 0,3m/s dan kecepatan angin tertinggi pada pukul 14:00 dan 15:00 di angka 1,9m/s sedangkan pengukuran manual memiliki kecepatan angin rata-rata di angka 0,6m/s dengan kecepatan angin terendah pada pukul 10:00 di angka 0,3m/s dan kecepatan angin tertinggi pada pukul 12:00 di angka 1,2m/s.
- 3) Pada pengukuran dari 6 titik di lokasi menggunakan simulasi ENVI-met, kecepatan angin terendah berlokasi di titik 6 yaitu area pedestrian depan gedung Presiden pada jam 12:00 Wita dengan kecepatan angin yang berada pada angka 0,2m/s. Kecepatan angin tertinggi berlokasi di titik 2 samping barat area parkir Bank BNI pada jam 13:00 Wita dengan kecepatan angin yang mencapai angka 3,1m/s.

d. Suhu Radiasi Bola Hitam

- 1) Pengukuran suhu radiasi bola hitam pada titik lokasi penelitian secara manual pada jam 09:30 sampai 15:30 menggunakan Thermohyrometer. Dari hasil pengukuran tersebut di dapat nilai rata rata suhu radiasi bola hitam berada di angka 46,1°C. Suhu radiasi bola hitam tertinggi terjadi pada pukul 14:50 dan 14:55 dimana nilai suhu radiasi bola hitam pada lokasi mencapai angka 50,1°C sedangkan suhu radiasi bola hitam terendah terjadi pada pukul 09:30 dimana nilai suhu radiasi bola hitam pada lokasi berada pada angka 34,8°C.
- 2) Pada tahapan perbandingan hasil pengukuran antara pengukuran secara manual terhadap simulasi ENVI-met dengan durasi 6 jam antara pukul 10:00 sampai 15:00, hasil simulasi memiliki suhu radiasi bola hitam rata-rata di angka 51,8°C dengan suhu radiasi bola hitam terendah pada pukul 10:00 di angka 41,8°C dan suhu radiasi bola hitam tertinggi pada pukul 15:00 di angka 58,7°C sedangkan pengukuran manual memiliki suhu radiasi bola hitam rata-rata di angka 46,5°C dengan suhu radiasi bola hitam terendah pada pukul 10:00 di angka 43,4°C dan suhu radiasi bola hitam tertinggi pada pukul 15:00 di angka 49,0°C.
- 3) Pada pengukuran dari 6 titik di lokasi menggunakan simulasi ENVI-met, Suhu radiasi bola hitam terendah berlokasi di titik 1 yaitu area pedestrian samping timur Bank BNI pada jam 15:00 Wita dengan suhu radiasi bola hitam yang berada pada angka 31,5°C. Hal ini disebabkan karena area tersebut memiliki pohon-pohon yang rindang sebagai peneduh untuk jalur pedestrian. Suhu radiasi bola hitam tertinggi berlokasi di titik 6 yaitu area pedestrian depan gedung Presiden pada jam 15:00 Wita dengan suhu radiasi bola hitam yang mencapai angka 62,9°C. Hal ini disebabkan karena sebagian area tersebut didominasi tutupan aspal dan tidak adanya vegetasi pada wilayah tersebut sebagai peneduh.

Kenyamanan Termal Ruang Luar Pada Kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado

- 1) Dari hasil pengukuran secara manual iklim mikro untuk rentang waktu pukul 09:30 Wita sampai dengan 15:30 Wita dan perhitungan dengan menggunakan software RayMan di dapat dua kategori skala kenyamanan termal, sangat panas (very hot). Dari 73 sample data waktu pengukuran yang berjarak 5 menit didapat 1 sample memiliki skala kenyamanan termal hangat (warm) kemusian 4 sample memiliki skala kenyamanan termal panas (hot) dan 69 sample memiliki skala kenyamanan termal sangat panas (very hot).
- 2) Dalam hal komparasi antara data hasil simulasi ENVI-met dan data hasil pengukuran manual dengan rentang waktu selama 6 jam dimulai dari pukul 10:00 Wita hingga pukul 15:00 Wita di dapat 3 kategori skala kenyamanan termal, yakni hangat(warm), panas (hot), sangat panas (very

- hot). Untuk simulasi ENVI-met didominasi oleh skala sangat panas (very hot) sedangkan untuk pengukuran manual berbanding seimbang antara skala panas (hot) dan sangat panas (very hot).
- 3) Dari hasil pengukuran pada 6 titik lokasi dengan menggunakan data simulasi ENVI-met dengan rentang waktu selama 6 jam dimulai pada pukul 10:00 Wita hingga pukul 15:00 Wita didapat 4 kategori skala kenyamanan termal yaitu, agak hangat (slightly warm), hangat(warm), panas (hot), sangat panas (very hot). Kondisi agak hangat (slightly warm) hanya terjadi pada titik satu dan dua pukul 10:00 Wita kemudian di ikuti kondisi hangat(warm). Hal ini dipengaruhi dengan kondisi vegetasi pada kedua titik. Dari 6 titik yang di ukur hasil perhitungan untuk skala PET didapat bahwa titik satu, dua ,dan empat berada pada kondisi hangat (warm). Titik tiga didominasi kondisi panas(hot) sedangkan titik lima dan enam didominasi kondisi sangat panas (very hot).

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian hasil simulasi ENVI-met dan komparasi perhitungan secara manual terkait iklim mikro kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado maka dapat dirumuskan beberapa pokok simpulan:

Iklim mikro pada kawasan Pasar 45 pusat Kota Manado yaitu suhu udara berkisar antara 28,5°C sampai dengan 36,8°C, kecepatan angin berkisar antara 0,1m/s sampai dengan 3,1m/s, kelembaban relative berkisar antara 44,0% sampai dengan 78,9%, dan suhu radiasi bola hitam berkisar antara 31,4°C sampai dengan 62,9°C.

Dalam hal komparasi hasil analisis iklim mikro dari dua teknik pengukuran data yaitu dengan menggunakan simulasi ENVI-met dan pengukuran manual maka disimpulkan bahwa meskipun terdapat perbedaan angka atau nilai sebagai hasil pengukuran yang diperoleh, namun perbandingan selisih data tersebut hampir keseluruhannya masih berada pada kategori skala termal PET yang sama.

Hasil analisis kenyamanan termal ruang luar pada 6 titik kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado dengan menggunakan simulasi ENVI-met menunjukkan hanya pada titik 1 dan 2 yang -dipengaruhi oleh kondisi vegetasi- sempat berada pada kategori agak hangat (slightly warm) namun kemudian meningkat dan didominasi kondisi hangat (warm). Sementara titik tiga didominasi kondisi panas (hot), titik empat permanen berada pada kondisi hangat (warm), sementara titik lima dan enam didominasi kondisi sangat panas (very hot).

Berdasarkan hasil analisis data iklim mikro penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa kenyamanan termal kawasan Pasar 45 Pusat Kota Manado berada pada tingkat hangat (warm), panas (hot), hingga sangat panas (very hot).

DAFTAR PUSTAKA

- Aghamolaei, R., Fallahpour, M., & Mirzaei, P. A. (2021). Tempo-spatial thermal comfort analysis of urban heat island with coupling of CFD and building energy simulation. *Energy and Buildings*, 251, 111317.
- Chan, S. Y., & Chau, C. K. (2021). On the study of the effects of microclimate and park and surrounding building configuration on thermal comfort in urban parks. *Sustainable Cities and Society*, 64, 102512.
- Febriarto, P., Haryati, R. R. S. R., & Zaki, M. (2023). Simulasi Envi-Met Kenyamanan Termal Jalur Pejalan Kaki di Jalan Jenderal Sudirman, Yogyakarta. *LOSARI: Jurnal Arsitektur Kota Dan Pemukiman*, 72–83.
- Kim, H.-U., & Jong, S.-I. (2020). Development of a system for evaluating the flow field around a massive stadium: Combining a microclimate model and a CFD model. *Building and*

- Environment*, 172, 106736.
- Lin, T.-P., Tsai, K.-T., Hwang, R.-L., & Matzarakis, A. (2012). Quantification of the effect of thermal indices and sky view factor on park attendance. *Landscape and Urban Planning*, 107(2), 137–146.
- Liu, D., Hu, S., & Liu, J. (2020). Contrasting the performance capabilities of urban radiation field between three microclimate simulation tools. *Building and Environment*, 175, 106789.
- Muhaling, J., Kumurur, V. A., & Wuisang, C. (2017). *Analisis Kenyamanan Termal Ruang Luar Di Kawasan Kampus Unsrat*. Sam Ratulangi University.
- Munawaroh, A. S., & Elbes, R. (2019). Persepsi Pengguna Terhadap Kenyamanan Termal Pada Bangunan Perpustakaan Ibi Darmajaya Lampung. *Jurnal Arsitektur Dan Perencanaan (JUARA)*, 2(2), 175–193.
- Mustika, N. W. M., & Sastrawan, I. W. W. (2017). Persepsi Tingkat Kenyamanan Termal Ruang Luar Pada Ruang Publik (Studi Kasus: Taman Kota I Gusti Ngurah Made Agung). *Jurnal Arsitektur Warmadewa*, 5(1), 45–56.
- Nolasari, A. B., Toyyibah, W., Kurniawan, A., WS, D. R., Chandra, M. F. W., & Koerniawan, M. D. (2023). Analisis Iklim Mikro Kawasan Berdasarkan Kerapatan Bangunan dan Vegetasi di Kawasan Institut Teknologi Bandung (ITB) Kampus Ganesha Bagian Selatan. *REKSABUMI*, 2(2), 75–86.
- Perini, K., Chokhachian, A., Dong, S., & Auer, T. (2017). Modeling and simulating urban outdoor comfort: Coupling ENVI-Met and TRNSYS by grasshopper. *Energy and Buildings*, 152, 373–384.
- Prasetia, I. (2022). *Metodologi Penelitian Pendekatan Teori dan Praktik*. umsu press.
- Senasaputro, B. B., Krisprantono, K., Prasetya, J. A., & Rihadiani, R. R. (2020). *Optimasi Kondisi Iklim Mikro Terhadap Unsur Kenyamanan Termal Pada Bangunan Pendopo Ageng Mangkunegaran Surakarta*.
- Sharmin, T., Steemers, K., & Matzarakis, A. (2017). Microclimatic modelling in assessing the impact of urban geometry on urban thermal environment. *Sustainable Cities and Society*, 34, 293–308.
- Yagi, O. U. T. (2023). *Evaluasi Penggunaan Software Simulasi Termal Sebagai Dasar Konsep Website Simulasi Termal Arsitektural*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Yilmaz, S., Sezen, I., Irmak, M. A., & Külekçi, E. A. (2021). Analysis of outdoor thermal comfort and air pollution under the influence of urban morphology in cold-climate cities: Erzurum/Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 64068–64083.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)