

Pengaruh Kecepatan dan Persebaran Angin terhadap Kenyamanan Termal Aktivitas Berjalan Santai di Kawasan Taman Sari

Adindra Maharsi Kusuma Astuti¹, Sita Yuliasuti Amijaya²

1, 2. Program Studi Magister Arsitektur, Fakultas Arsitektur dan Desain, Universitas Kristen Duta Wacana, Jl. dr. Wahidin Sudirohusodo No. 5-25, Yogyakarta

Email: adindra.mka22@gmail.com, sitaamijaya@staff.ukdw.ac.id.

ABSTRAK

Kata kunci:
Kenyamanan termal, ruang luar, kecepatan angin, simulasi.

Urban Heat Island mempengaruhi kenyamanan termal iklim mikro suatu kawasan dalam kota dan menjadi tantangan dalam adaptasi manusia serta keberlangsungan lingkungan. Taman Sari merupakan kawasan wisata *heritage* yang berada di tengah Kota Yogyakarta. Kecepatan angin menjadi faktor penting dalam kenyamanan termal ruang luar karena angin dapat langsung dirasakan oleh tubuh manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap kenyamanan termal dalam aktivitas berjalan santai dan mengetahui arah serta persebaran angin di kawasan Taman Sari. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif terhadap hasil survei lapangan, perhitungan, dan simulasi *software* Simscale. Hasil dari penelitian adalah kecepatan angin mempengaruhi kenyamanan termal saat berjalan santai, dengan perhitungan $1,3 \text{ m/s} \leq v < 3,7 \text{ m/s}$ memberi persepsi nyaman pada zona I dan II. Sedangkan pada zona III, $v \leq 0,7 \text{ m/s}$ yang memberi persepsi panas. Hasil simulasi menunjukkan arah persebaran angin dan validasi terhadap data pengukuran. Dilihat pada pola grafik data pengukuran sama dengan pola grafik data simulasi. Namun kedua data tersebut memiliki selisih nilai kecepatan angin pada beberapa titik pengamatan.

Keywords:

Thermal comfort, outdoor, wind velocity, simulation.

ABSTRACT

Title: *The Impact of Wind Velocity and Distribution on Thermal Comfort during Leisurely Walking Activities in the Taman Sari Area*

Urban Heat Island affects the thermal comfort of the microclimate of an area in the city and is a challenge for human adaptation and environmental sustainability. Taman Sari is a heritage tourism area in the center of Yogyakarta city. Wind speed is an important factor in the thermal comfort of outdoor space because the human body can directly feel the wind. This study aims to determine the effect of wind speed on thermal comfort in leisurely walking activities and determine the direction and distribution of wind in the Taman Sari area. The method used is descriptive quantitative to the results of field surveys, calculations, and simulation software Simscale. The research results are that wind speed influences thermal comfort when strolling, with the calculation that $1.3 \text{ m/s} \leq v < 3.7 \text{ m/s}$ gives a comfortable perception in zones I and II. Meanwhile, in zone III, $v \leq 0.7 \text{ m/s}$, which gives the perception of heat. Simulation results show wind direction and validation of measurement data. The graphic pattern measurement data is the same as the graphical pattern of the simulated data. However, both data differ in wind speed values at several observation points.

Pendahuluan

Perubahan tutupan lahan dan kepadatan di perkotaan mengakibatkan terjadi fenomena *urban heat island* yang berdampak pada peningkatan suhu global (Andani et al., 2018). Bentuk geometri permukaan di perkotaan seperti gedung-gedung tinggi dan kepadatan kawasan menyumbangkan peningkatan suhu iklim mikro di sekitarnya (Lempoy et al., 2021). Menurut Naeem Irfan et al. dalam Sangkertadi & Syafriny, (2013) mengatakan bahwa iklim perkotaan lebih panas jika dibandingkan dengan iklim di pedesaan. Peningkatan suhu global mengakibatkan perubahan iklim (*climate change*) dan anomali cuaca yang semakin sering terjadi. Penanganan perubahan iklim merupakan salah satu tujuan dalam SDGs (*Sustainable Development Goals*), dimana adaptasi dan upaya ketahanan menjadi usaha dalam memerangi perubahan iklim.

Beberapa aktivitas manusia di luar ruangan sebagai bentuk adaptasi dengan persepsi kenyamanan termal, seperti: berjalan di bawah pohon, berjulan di bawah pohon, pembuatan penutup atap, penambahan pendingin udara (kipas angin), dan sebagainya. Hal ini menjadi bukti bahwa penghawaan dan penambahan kecepatan angin melalui energi mekanik dibutuhkan untuk meningkatkan kenyamanan (Tadi, 2012). Kondisi suasana panas ruang luar akan berbeda dengan ruang dalam meskipun memiliki iklim yang sama pada suatu tempat. Kenyamanan termal iklim mikro menjadi penting untuk diperhatikan dalam upaya mengurangi dan adaptasi terhadap peningkatan suhu dan bahaya *climate change*.

Menurut *International Standard Organization* dalam Tadi (2012), dinyatakan satuan skala kenyamanan termal (Tabel 1). Kenyamanan termal dapat dilihat dari 2 variabel yaitu iklim (suhu udara, suhu radiasi, kecepatan angin, kelembaban udara) dan aktivitas manusia yang menggunakan parameter tubuh (ukuran dan jenis pakaian yang dikenakan) untuk mencari angka persepsi. Angka persepsi didasarkan oleh perpindahan kalor dan pertukaran panas antara manusia dan lingkungan disekitarnya (Tadi, 2012).

Tabel 1. Definisi skala kenyamanan termal

Besar Skala	Persepsi
-3	Sangat Dingin
-2	Dining
-1	Agak Dingin
0	Nyaman/Netral
1	Agak Panas/Hangat
2	Panas
3	Sangat Panas

Sumber: *International Standard Organization* dalam ISO 7730, 2003.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal menurut George Lippsmeier dalam Sangaji et al. (2015) adalah radiasi matahari, pemantulan dan penyerapan, temperatur dan perubahan temperatur, kelembaban udara, kecepatan angin (pergerakan angin). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sangkertadi & Syafriny (2013), tentang iklim tropis lembab dengan studi kasus di

Kota Manado menghasilkan 2 persamaan perhitungan untuk kenyamanan termal bagi manusia dengan aktivitas berjalan santai dan duduk sebagai bentuk istirahat (mendarat). Berikut perhitungan persamaan kenyamanan termal:

$$Y_{js} = -3,4 - 0,36v + 0,04T_a + 0,08T_g - 0,01RH + 0,86 A_{DU}$$

$$YD = -7,9122 - 0,5215v +$$

Keterangan:

T_a: Suhu udara;

T_g: Suhu radiasi global (suhu bola hitam);

T_s: Suhu permukaan

T_{rm}: Suhu rata-rata radiasi permukaan;

S: Radiasi matahari;

RH: Kelembaban;

A_{DU}: Luas kulit tubuh manusia (m²).

Suhu radiasi global (T_g) dapat dicari dengan menggunakan perhitungan apabila tidak menggunakan pengukuran. Perhitungan dengan menggunakan rumus Dimiceli, V E, Piltz S F, Amburn S A dalam Sangkertadi & Syafriny (2013), sebagai berikut:

$$T_g = \frac{B + CT_a + 7680000}{C + 256000}$$

$$B = S \left(\frac{f_{db}}{4\sigma \cos(z)} + \frac{1,2}{\sigma} f_{dif} \right) + \epsilon_a T_a^4$$

$$C = \frac{h v^{0,58}}{d 5,3865 \times 10^{-8}}$$

$$h = 12,1 \sqrt{v}$$

Keterangan:

T_a: Suhu udara (°C); dengan diperlukan perhitungan koefisien B dan C

S: Radiasi matahari (W/m²);

f_{db}: Fraksi (persentase) sinar matahari langsung;

f_{dif}: Fraksi (persentase) sinar matahari difus;

σ: Bilangan Boltzaman: 5,67 x 10⁻⁸;

z: Sudut zenit matahari (derajat)

h: Koefisien transfer kalor konvektif (W/m²°C);

v: Kecepatan angin

Kenyamanan termal sangat dipengaruhi oleh *setting* atau tatanan bangunan dengan lanskap yang baik. Taman Sari dulunya merupakan tempat pemandian raja atau sultan, permaisuri dan para putri raja di keraton. Namun saat ini telah berubah fungsinya menjadi kawasan wisata *heritage* yang berada di tengah pemukiman padat Kota Yogyakarta. Taman Sari sendiri merupakan warisan budaya yang berupa kompleks bangunan yang berada di tempat terbuka dan bersentuhan langsung dengan kondisi serta keadaan alam tropis. Pada awalnya kompleks bangunan Taman Sari dikelilingi oleh perkebunan dan kanal air. Akibat gempa besar pada 10 Juni 1867, kompleks Taman Sari mengalami perubahan fungsi dan

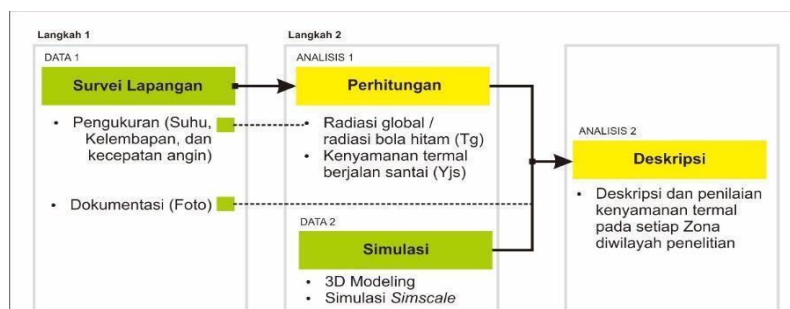
tidak lagi digunakan total oleh keluarga kesultanan. Pada tahun 2000, Taman Sari dibuka sebagai destinasi wisata *heritage* (Hardie & Sumarno, 2022).

Perkembangan permukiman di sekitar kawasan Taman Sari dan aktivitas kunjungan wisata dapat mempengaruhi kondisi iklim mikro Taman Sari. Jumlah kunjungan ke Taman Sari biasanya akan mengalami peningkatan pada liburan panjang sekolah dan akhir tahun. Selain berfoto, berjalan kaki santai adalah aktivitas yang dilakukan pengunjung untuk dapat melihat seluruh bagian dari Taman Sari. Saat ini perubahan fungsi dan fisik kompleks Taman Sari membawa dampak perubahan kenyamanan termal di kawasan Taman Sari pada *setting* awal dengan kondisi kawasan Taman Sari pada saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan dan persebaran angin terhadap kenyamanan termal dalam aktivitas berjalan santai di area Taman Sari.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan melakukan survei lapangan, perhitungan, dan simulasi *software* untuk mendapatkan data yang akan dianalisis pada aspek kenyamanan termal. Lokasi penelitian berada di Taman Sari Yogyakarta tepatnya pada area parkir, taman (*Gedhong Sekawan*), dan area pemandian (*Umbul Binangun*). Data pengukuran yang digunakan adalah data pengukuran pada saat libur akhir tahun, pada tanggal 20 Desember 2022 pukul 13:30–14:30 siang hari (suhu tertinggi).

Urutan langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Data survei lapangan yang berupa pengukuran (suhu, kelembaban, dan kecepatan angin) akan digunakan sebagai data perhitungan untuk mencari angka kenyamanan termal saat berjalan santai. Simulasi *software* akan digunakan sebagai visualisasi pergerakan aliran angin dan validasi kecepatan angin pada pengukuran lapangan. Hasil perhitungan dan simulasi digunakan sebagai data (angka dan visual) analisis kenyamanan termal di wilayah penelitian (Gambar 2).



Gambar 1. Skematik langkah-langkah penelitian

Sumber: Hasil olahan penulis, 2023

Dalam survei lapangan dilakukan dokumentasi berupa foto suasana dan pengukuran untuk mengumpulkan data:

- a. Suhu (T_a °C) disetiap titik pengukuran menggunakan *thermo hydrometer* dan rata-rata suhu udara.

- b. Kelembaban (RH%) di setiap titik pengukuran menggunakan *thermo hydrometer* dan rata rata kelembaban.
- c. Kecepatan angin (v m/s) di setiap titik pengukuran menggunakan *anemometer* dan rata rata kecepatan angin.

Setelah mengambil data melalui survei lapangan, data akan diolah dalam perhitungan kenyamanan termal dengan aktivitas berjalan santai (Yjs). Perhitungan menggunakan rumus persamaan yang ditemukan oleh Sangkertadi & Syafriny R, (2012) dengan nilai luas permukaan kulit (A_{DU}) orang dewasa yaitu $1,7 \text{ m}^2$. Sedangkan radiasi ($S \text{ W/m}$) diambil dari rata-rata radiasi matahari yang menyentuh tubuh pada bulan desember (2019-2021) sebesar 600 W/m^2 pada siang hari berdasarkan penelitian oleh Habibah et al. (2022).

Untuk mendapat angka kenyamanan termal berjalan santai diperlukan perhitungan ($T_g^\circ\text{C}$) radiasi global (radiasi bola hitam) dibagi menjadi 2. Pertama situasi dibawah naungan secara fisik (dibawah pohon dan atap), dimana angka suhu udara (T_a) relatif sama dengan suhu bola hitam (T_g). Kedua situasi berada di ruang terbuka yang tidak ternaungi, suhu udara (T_a) relatif lebih rendah dari pada suhu bola hitam (T_g) (Tadi, 2012).

Selain data hasil perhitungan, data hasil simulasi juga digunakan dalam analisis kenyamanan termal. Penelitian ini menggunakan *software* Simscale. Simscale adalah aplikasi simulasi rekayasa yang menyediakan pemodelan dan simulasi berbasis *browser*. Simscale dapat digunakan untuk simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) (Sutanto et al., 2021). Simulasi Simscale pada penelitian ini digunakan untuk melihat visualisasi persebaran, arah gerak, dan kecepatan angin di Taman Sari (area parkir, *Gedhong Sekawan*, dan Pemandian *Umbul Binangun*) yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitarnya.

Berikut merupakan gambar batasan wilayah penelitian, pembagian zona, dan titik pengamatan:

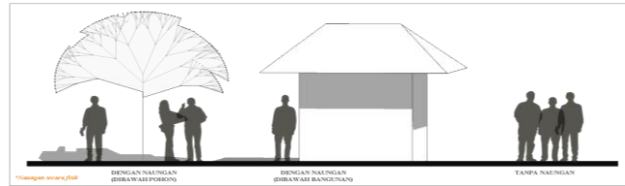


Gambar 2. Batasan wilayah penelitian, pembagian zona, dan titik pengamatan

Sumber: Hasil olahan penulis, 2023

Batasan wilayah penelitian adalah bagian kawasan Taman Sari yang langsung bersinggungan dengan ruang luar yaitu area parkir, *Gedhong Sekawan*, dan Pemandian *Umbul Binangun*. Pembagian zona dipilih berdasarkan fungsi (aktivitas) dan kondisi fisik wilayah penelitian yang meliputi area parkir dan *entrance* (zona I), taman (zona II), dan pemandian (zona III). Titik pengamatan

dipilih berdasarkan naungan secara fisik pada jalur wisatawan berjalan kaki dari area parkir hingga area kolam pemandian. Naungan fisik yang dimaksud adalah berada dibawah pohon atau atap (tritisan) pada ruang terbuka (Gambar 3).



Gambar 3. Skematik kriteria naungan

Sumber: Hasil olahan penulis, 2023

Hasil dan Pembahasan

Pengumpulan data melalui pengukuran dan perhitungan akan menghasilkan data analisis kenyamanan termal seperti pada Tabel 1 (definisi skala kenyamanan termal). Selanjutnya hasil simulasi dapat menyajikan informasi visual yang menggambarkan pergerakan angin dan validasi kecepatan angin terhadap data pengukuran. Berikut tabel data pengukuran lapangan:

Tabel 2. Hasil pengukuran kecepatan angin

Titik Pengukuran	Zona	Kecepatan angin	Kelembaban (%)	Suhu (°C)	Keterangan	Waktu
		Rata-Rata m/s per titik				
Titik A	ZONA I	1,3	55	33	Area parkir	13.39
Titik B		1,5	62	33,6	Perempatan	13.48
Titik C		1,3	61	34,3	Entrance	13.50
Titik D	ZONA II	3,7	61	33,2	Area ticketing	14.10
Titik E		4,6	57	33,5	Atas area taman	14.11
Titik F		1,8	57	33,3	Area taman - utara	14.17
Titik G		1,3	58	33,1	Area taman - selatan	14.19
Titik H	ZONA III	0,5	51	38,3	Area kolam utara	14.24
Titik I		0,7	46	39,2	Area kolam tengah	14.25
Titik J		0,3	43	39,5	Area kolam selatan J	14.28
Titik K		0,5	45	38,2	Area kolam selatan K	14.32
Rata-rata		1,59	54,18	35,38	Suhu rata-rata sebagai (Ta)	13.39-14.32
Maksimum		4,6	62	39,5	-	
Minimum		0,3	43	33	-	

Sumber: Hasil analisis penulis, 2023

Zona I memiliki rata-rata kecepatan angin yang lebih tinggi dari zona III dan lebih rendah dari pada zona II. Zona I memiliki nilai kelembaban paling tinggi dan suhu udara yang relatif sama dengan zona II, namun lebih rendah dari zona III. Pada zona II memiliki rata-rata kecepatan angin paling tinggi, dan nilai kelembaban yang relatif lebih tinggi dari zona III, namun lebih rendah dari zona I. Pada zona II suhu udara relatif sama dengan zona I dan lebih rendah dari zona III. Zona III memiliki nilai rata-rata kecepatan angin paling rendah dan nilai kelembaban paling rendah. Namun zona III memiliki rata-rata suhu paling tinggi dari 2 zona lainnya. Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa rata-rata kecepatan angin sebesar 1,59 m/s dan kecepatan angin tertinggi pada titik E dengan nilai kecepatan angin sebesar 4,6 m/s.

Data Tabel. 2 digunakan sebagai data perhitungan kenyamanan termal terhadap aktivitas berjalan santai. Penelitian ini menggunakan parameter aktivitas berjalan santai, karena merupakan aktivitas yang dominan dilakukan para pengunjung untuk menikmati kawasan Taman Sari sembari berfoto atau mendengarkan cerita sejarah Taman Sari oleh *tour guide*.

Elemen Pengukuran:

- v (m/s) : Data hasil pengukuran
- Ta (°C) : 35,38°C rata-rata suhu pengukuran
- RH (%) : Data hasil pengukuran
- A_{DU} (m²) : 1,7 m²
- Tg (°C) : Hasil perhitungan

$$Tg = \frac{B + CTa + 7680000}{C + 256000}$$

Nilai koefisien B dan C dari hasil perhitungan adalah:

- B = 324.055.862
- C = nilai C dipengaruhi kecepatan angin (Tabel 3)

Tabel 3. Hasil perhitungan nilai C

v	C
0,3	9234719
0,5	12382809
0,7	15095594
1,3	21616256
1,5	23486931
1,7	26106665
3,7	39650653
4,6	44987606

Sumber: Hasil analisis penulis, 2023

Hasil perhitungan kenyamanan termal berjalan santai dari persamaan:

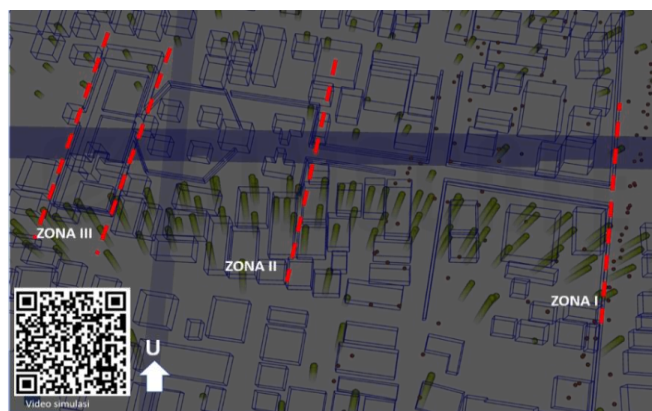
$$Yjs = -3,4 - 0,36v + 0,04Ta + 0,08Tg - 0,01HR + 0,86A^{DU}$$

Tabel 4. Hasil perhitungan nilai Tg dan Yjs

Zona	Titik	Iklim			Jalan Normal		Keterangan	
		v m/s	Ta (rata-rata) (°C)	Tg (°C) Keterangan	Yjs	Persepsi		
I	A	1,3	35,4	35,4	Ta = Tg	-0,81	Nyaman	Dibawah pohon
	B	1,5	35,4	48,1	Ta < Tg	0,38	Nyaman	Tanpa naungan
	C	1,3	35,4	49,3	Ta < Tg	0,53	Nyaman	Tanpa naungan
II	D	3,7	35,4	35,4	Ta = Tg	-1,58	Agak dingin	Dibawah pohon
	E	4,6	35,4	41,6	Ta < Tg	-1,3	Agak dingin	Tanpa naungan
	F	1,8	35,4	35,4	Ta = Tg	-0,93	Nyaman	Dibawah atap
	G	1,3	35,4	35,4	Ta = Tg	-0,74	Nyaman	Dibawah atap
III	H	0,5	35,4	60,0	Ta < Tg	1,59	Agak panas	Tanpa naungan
	I	0,7	35,4	55,5	Ta < Tg	1,1	Agak panas	Tanpa naungan
	J	0,3	35,4	68,5	Ta < Tg	2,26	Panas	Tanpa naungan
	K	0,5	35,4	60,0	Ta < Tg	1,53	Agak panas	Tanpa naungan

Sumber: Hasil analisis penulis, 2023

Hasil perhitungan ini menggunakan kecepatan angin sebagai indikator utama yang mempengaruhi nilai persepsi kenyamanan termal. Hal ini dibuktikan dengan hasil $1,3 \text{ m/s} \leq v < 3,7 \text{ m/s}$ memberi persepsi nyaman yang berada di zona I dan II, dan jika $v \geq 3,7 \text{ m/s}$ akan memberi persepsi agak dingin (zona II). Pada zona II titik E nilai kecepatan angin paling tinggi yaitu $v = 4,6 \text{ m/s}$ (menerbangkan benda ringan). Kecepatan angin yang tinggi pada titik E memberi pengaruh untuk mengurangi temperatur, karena titik ini langsung terpapar sinar matahari. Sedangkan titik pengukuran pada zona III yaitu titik H, I, J, dan K memiliki kecepatan angin yang relatif rendah $v \leq 0,7 \text{ m/s}$ memberi persepsi agak panas dan panas. Faktor lain zona III memiliki persepsi panas adalah suhu radiasi global (radiasi bola hitam) akibat tidak ternaungi secara fisik. Elemen naungan (pepohonan dan tritisan) mempengaruhi persepsi kenyamanan karena $T_a = T_g$, sedangkan area tanpa naungan akan lebih panas karena $T_a < T_g$.



Gambar 4. Hasil simulasi Simscape yang menunjukkan arah dan persebaran angin

Sumber: Hasil olahan penulis, 2023

Gambar 4 memperlihatkan indikator hasil persebaran angin dan arah angin zona I, II, dan III. Indikator panah kuning menunjukkan arah gerak angin yang dominan dari selatan, sedangkan titik merah menunjukkan arah angin dari timur (tidak dominan). Persebaran angin juga dipengaruhi oleh kondisi bangunan di sekitar wilayah penelitian (Kawasan Taman Sari). Zona I merupakan jalan dan area parkir yang disekitarnya terdapat permukiman dan jalan lain atau gang. Udara dapat mengalir ke zona I melalui celah bangunan disekitarnya dan jalan (gang) yang berpotongan dengan jalan utama. Zona II dengan pagar dinding yang rendah dan memiliki banyak ruang terbuka memungkinkan udara dapat mengalir dengan mudah pada zona ini. Pada zona III memiliki level lantai yang rendah dibanding zona I dan II, serta merupakan area yang dikelilingi tembok dinding yang masif dan tinggi. Hal ini membuat aliran angin terblokir oleh tembok sehingga tidak banyak aliran angin yang berhembus pada zona III.



Gambar 5. Grafik data pengukuran dan hasil simulasi terhadap kecepatan angin
 Sumber: Hasil olahan penulis, 2023

Selain melihat persebaran angin, hasil simulasi digunakan untuk mengecek dan melakukan validasi terhadap data pengukuran kecepatan angin. Gambar 5 menunjukkan korelasi dan perbedaan kecepatan angin antara pengukuran lapangan dengan hasil simulasi. Grafik hasil pengukuran lapangan ditandai dengan garis berwarna biru, sedangkan grafik hasil simulasi ditandai dengan garis berwarna jingga. Data kecepatan angin dari hasil pengukuran dan hasil simulasi memiliki pola grafik (garis) yang sama, namun terdapat perbedaan nilai kecepatan angin di beberapa titik-titik pengamatan.

Perbedaan nilai pada grafik dapat dilihat dari kotak berwarna hitam dan putih. Contoh pembacaan grafik pada titik B dan titik E. Pada titik B nilai kecepatan angin dari hasil pengukuran lebih kecil dibandingkan nilai kecepatan angin dari hasil simulasi. Hal ini ditunjukkan dengan kotak berwarna putih seperti gambar grafik diatas, yang memiliki selisih kecepatan sebesar 0.15 m/s. Sedangkan pada titik E nilai kecepatan angin dari hasil pengukuran lebih besar dibandingkan nilai kecepatan angin dari hasil simulasi dan ditunjukkan dengan kotak berwarna hitam, yang memiliki selisih kecepatan angin sebesar 2.52 m/s. Kecepatan angin dari hasil simulasi menggambarkan kecepatan angin yang relatif stabil yaitu 0.14 m/s–2.08 m/s. Sedangkan grafik kecepatan angin hasil pengukuran relatif memiliki pola yang lebih ekstrim dengan data kecepatan angin paling rendah 0.3 m/s dan kecepatan angin paling tinggi 4.6 m/s. Pola kecepatan angin yang ekstrim pada data pengukuran disebabkan keadaan *real* berbeda dengan keadaan simulasi dimana kecepatan angin dipengaruhi oleh aktivitas dan kondisi *real* wilayah pengamatan.

Gambar 6 memperlihatkan hasil persebaran angin, kecepatan angin, dan suasana pada zona I. Zona I dengan nilai persepsi nyaman, didukung dengan pohon-pohon rindang dan kecepatan angin yang berhembus dapat dirasakan. Angin dapat dirasakan berhembus dari arah selatan dan timur melalui gang-gang dan celah-celah rumah pada area ini. Wisatawan melakukan aktivitas berjalan santai dengan nyaman dan cenderung berjalan di bawah pohon (dengan naungan). Zona ini juga ramai dan menjadi tempat yang nyaman untuk kegiatan berjalan jajan (makanan dan minuman) maupun cinderamata.



Gambar 6. Hasil simulasi Simscale dan suasana pada zona I

Sumber: Hasil olahan penulis, 2023

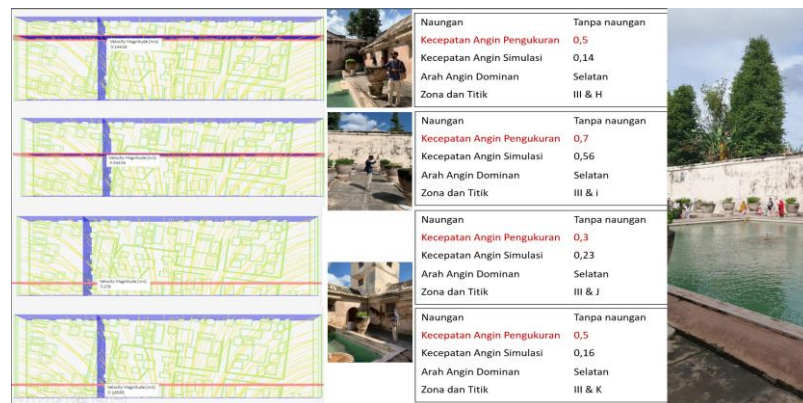
Gambar 7 memperlihatkan hasil persebaran angin, kecepatan angin dan suasana pada zona II. Zona II dengan nilai persepsi agak dingin dan nyaman, didukung dengan pohon-pohon dan bangunan-bangunan terbuka sebagai tempat teduhan. Banyaknya pohon dan bangunan terbuka mengurangi suhu radiasi matahari pada zona ini. Pada titik E zona II kecepatan yang kencang dapat meningkatkan kenyamanan termal, karena angin dapat langsung dirasakan oleh kulit manusia meskipun tanpa naungan (titik E). Zona ini merupakan area terbuka dan angin dapat dirasakan berhembus dari arah selatan. Wisatawan melakukan aktivitas berjalan santai dengan nyaman dan dapat melakukan aktivitas lain seperti berfoto.



Gambar 7. Hasil simulasi Simscale dan suasana pada zona II

Sumber: Hasil olahan penulis, 2023

Gambar 8 memperlihatkan hasil persebaran angin, kecepatan angin dan suasana pada zona III. Zona III dengan nilai persepsi agak panas yang dipengaruhi oleh kecepatan angin yang rendah dan angin tidak terasa. Penyebab utama secara fisik yang terlihat adalah angin terhalang oleh tembok dinding yang tinggi dan masif. Zona ini merupakan area terbuka yang tidak memiliki teduhan pada selasar atau tempat berjalan. Wisatawan melakukan aktivitas berjalan santai dengan kurang nyaman karena terasa panas dan harus berteduh pada sisi tembok yang memiliki bayangan dari arah gerak matahari.



Gambar 8. Hasil simulasi Simscale dan suasana pada zona III
 Sumber: Dokumentasi penulis, 2023

Hasil penelitian menunjukkan kecepatan angin $1,3 \text{ m/s} \leq v < 3,7 \text{ m/s}$ memberi persepsi nyaman untuk aktivitas berjalan santai di kawasan Taman Sari pada zona I dan II. Persepsi “nyaman” dalam penelitian ini dinilai menggunakan persamaan Y_{js} (kenyamanan termal saat berjalan santai). Selanjutnya validasi data pengukuran lapangan yang menggunakan simulasi Simscale menunjukkan bahwa kecepatan angin hasil pengukuran memiliki pola grafik yang sama dengan hasil simulasi. Persebaran angin pada hasil simulasi dapat membantu analisis dan deskripsi keadaan termis di setiap titik pengamatan.

Kesimpulan

Kenyamanan termal ruang luar berbeda dengan kenyamanan termal dalam ruangan, karena faktor kecepatan angin dapat langsung dirasakan oleh tubuh manusia dan memberikan rasa nyaman pada iklim tropis lembab. Tidak hanya faktor iklim namun aktivitas manusia juga mempengaruhi kenyamanan termal lingkungan (iklim mikro). Hasil penelitian menunjukkan pengaruh kecepatan angin terhadap aktivitas berjalan santai di Taman Sari, Yogyakarta, adalah “nyaman” ketika berjalan santai pada zona I dan II, sedangkan pada zona III terasa “panas”. Hal ini dikarenakan manusia (pengunjung) dapat merasakan pergerakan angin saat berjalan santai pada zona I dan II yang dibuktikan melalui perhitungan data pengukuran dan pengaruh persebaran angin dari hasil simulasi. Pada penelitian ini simulasi digunakan untuk validasi kecepatan angin dari data pengukuran dan sebagai alat untuk membantu proses analisis dan deskripsi kenyamanan termal pada setiap titik pengamatan. *Software* Simscale memperlihatkan angin dapat bergerak bebas di ruang terbuka (tidak terhalang) dan cenderung bergerak melewati sela-sela bangunan menuju ruang terbuka.

Adanya naungan dari pepohonan dan tritisan juga memberikan dampak pada penurunan suhu radiasi global. Hal ini baik sebagai strategi yang ramah lingkungan dalam upaya menjaga kenyamanan termal. Kenyamanan termal yang terbentuk dari keadaan iklim, suhu, suhu radiasi global, kecepatan udara, dan kelembaban yang saling terkait, serta terbentuk dari parameter pengguna (manusia) yaitu aktivitas, jenis pakaian, dan ukuran tubuh.

Daftar Pustaka

- Andani, N. D., Sasmito, B., & Hani'ah, H. (2018). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Fenomena Urban Heat Island Dan Keterkaitannya Dengan Tingkat Kenyamanan Termal (Temperature Humidity Index) Di Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(3), Article 3. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2018.21216>
- Habibah, E., Suyono, E. A., Koerniawan, M. D., Suwanti, L. T., Siregar, U. J., & Budiman, A. (2022). Potential of natural sunlight for microalgae cultivation in Yogyakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 963(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012041>
- Hardie, C. G. P., & Sumarno. (2022). Perkembangan Alih Fungsi Bangunan Kompleks Taman Sari Keraton Yogyakarta Tahun 1972-2000. *Avatara, Volume 12*(Jurnal Pendidikan Sejarah).
- Lempoy, E., Kumurur, V., & Warouw, F. (2021). Analisis Faktor Pembentuk Urban Heat Island di Kota Bitung. *Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan Dan Arsitektur*, 10(1), 45–55. <https://doi.org/10.35793/sabua.v10i1.34460>
- Sangaji, Y., Sangkertadi, & Sembel, A. (2015). Kajian Kenyamanan Termal Bagi Pejalan Kaki Pada Jalur Pedestrian Universitas Sam Ratulangi. *Spasial*, 2(2), 98–106. <https://doi.org/10.35793/sp.v2i2.9091>
- Sangkertadi, P., & Syafriny, R. (2013). Panas Dan Kenyamanan Iklim Mikro Akibat Sifat Bahan Perkerasan Pelapis Permukaan Ruang Luar Di Daerah Beriklim Tropis Lembab (Heat and Comfort of Micro Climate due to Thermal Properties of Hard Materials of Ground Surface in Humid Tropics Environment). *MEDIA MATRASAIN*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.35792/matrasain.v10i1.4085>
- Sutanto, F., Wicaksana, A., & Tetuko, A. P. (2021). Analisa Distribusi Stress dan Displacement pada Sudu Turbin Angin Savonius dengan Material Baja Menggunakan Simscales. *Piston: Journal of Technical Engineering*, 4(2), 56–63. <https://doi.org/10.32493/pjte.v4i2.9631>
- Tadi, S. (2012). Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal Di Ruang Luar Iklim Tropis Lembab. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia, Volume 1 No.2*. https://www.academia.edu/4017453/Pengaruh_Kecepatan_Angin_Terhadap_Tingkat_Kenyamanan_Termal_Di_Ruang_Luar_Iklim_Tropis_Lembab