



ANALISIS PERBANDINGAN EFEKTIVITAS VEGETASI DAN NAUNGAN BUATAN DALAM MENINGKATKAN KENYAMANAN TERMAL RUANG TERBUKA KAMPUS

Syeril Salsabella¹, Eddy Prianto²

Magister Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro¹, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro²

E-mail: syerilsalsabella@students.undip.ac.id, eddy.prianto@ft.undip.ac.id

Informasi Naskah:

Diterima:
12 Maret 2025

Direvisi:
15 Mei 2025

Disetujui terbit:
2 Juni 2025

Diterbitkan:
Cetak:
29 Juni 2025

Online
29 Juni 2025

Abstract: Global warming and massive urbanization have created significant challenges in managing thermal comfort in campus open spaces, particularly in tropical climate regions. This research analyzes the comparative effectiveness of vegetation and artificial shading in improving thermal comfort in campus open spaces, with case studies in three different locations at Diponegoro University: S3 Garden (with artificial shading), S2 Garden (with dense vegetation), and Building A Front Garden (with minimal natural shading). Through a quantitative approach with 24-hour temperature and humidity observations, the research reveals significant differences in thermal performance across the three locations. The S2 Garden with dense vegetation demonstrates the best performance in creating balanced thermal comfort, maintaining an average temperature of 28.5°C with approximately 78% humidity through evapotranspiration processes. Meanwhile, artificial shading in the S3 Garden, although effective in controlling temperature increases up to 34.5°C, shows limitations in regulating humidity, which drops to 41.9% during daytime. The area with minimal shading experiences the most extreme conditions, with temperatures reaching 36.9°C and the largest humidity fluctuations. Research findings indicate that vegetation integration is the most effective strategy in creating sustainable thermal comfort in tropical campus environments, capable of combining temperature control and humidity regulation through natural processes. This research contributes to the development of design guidelines for thermally comfortable and sustainable campus open spaces.

Keyword: Vegetation, Artificial Shading, Thermal Comfort, Campus Open Spaces,

Abstrak: Pemanasan global dan urbanisasi yang masif telah menciptakan tantangan signifikan dalam pengelolaan kenyamanan termal di ruang terbuka kampus, terutama di kawasan beriklim tropis. Penelitian ini menganalisis perbandingan efektivitas antara vegetasi dan naungan buatan dalam meningkatkan kenyamanan termal di ruang terbuka kampus, dengan studi kasus di tiga lokasi berbeda di Universitas Diponegoro: Taman S3 (dengan naungan buatan), Taman S2 (dengan vegetasi padat), dan Taman Depan Gedung A (dengan naungan alami minim). Melalui pendekatan kuantitatif dengan pengamatan suhu dan kelembaban selama 24 jam, penelitian mengungkapkan perbedaan signifikan dalam kinerja termal di ketiga lokasi tersebut. Taman S2 dengan vegetasi padat menunjukkan kinerja terbaik dalam menciptakan kenyamanan termal yang seimbang, mampu mempertahankan suhu rata-rata 28,5°C dengan kelembaban sekitar 78% melalui proses evapotranspirasi. Sementara itu, naungan buatan di Taman S3, meskipun efektif dalam mengendalikan kenaikan suhu hingga 34,5°C, menunjukkan keterbatasan dalam mengatur kelembaban yang turun hingga 41,9% pada siang hari. Area dengan naungan minim mengalami kondisi paling ekstrem, dengan suhu mencapai 36,9°C dan fluktuasi kelembaban terbesar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi vegetasi merupakan strategi paling efektif dalam menciptakan kenyamanan termal berkelanjutan di lingkungan kampus tropis, mampu mengombinasikan pengendalian suhu dan pengaturan kelembaban melalui proses alami. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan pedoman desain ruang terbuka kampus yang nyaman secara termal dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Vegetasi, Naungan Buatan, Kenyamanan Termal, Ruang Terbuka Kampus

PENDAHULUAN

Dampak dari pemanasan global dan urbanisasi yang massal adalah meningkatnya suhu yang cukup tinggi di wilayah kota-kota termasuk di lingkungan kampus. Fenomena ini dikenal sebagai urban heat island effect. Dan ini dapat menyebabkan

ketidaknyaman termal yang membatasi aktivitas civitas akademika yang berlokasi di ruang terbuka di area di area kampus. Menurut Brown et al. (2015), suhu permukaan di area terbuka kampus dapat mencapai 42°C pada saat puncak radiasi matahari, hal ini jauh di atas ambang batas kenyamanan

termal bagi manusia yang berkisar antara 23-29°C. Situasi ini diperparah dengan kurangnya area bervegetasi dan permukaan keras yang menyerap dan memancarkan panas secara berlebihan. Area penelitian ini berfokus pada ruang terbuka kampus yang penting karena area ini berperan sebagai pusat kegiatan akademik, interaksi sosial, dan fungsi ekologis. Kong et al. (2017), mengamati bahwa ketidaknyamanan termal mengakibatkan tidak digunakannya ruang terbuka sebanyak 60% selama jam efektif, yang menyebabkan kurangnya pemanfaatan fasilitas kampus yang tersedia serta menimbulkan masalah terhadap interaksi sosial. Ruang terbuka di kampus di daerah tropis mengalami kemunduran dalam mencapai kenyamanan termal karena radiasi matahari yang tinggi selama sepanjang tahun serta tingkat kelembaban yang cukup tinggi. Oleh karena itu, pengelolaan kenyamanan termal ruang terbuka menjadi komponen penting dalam pengembangan desain kampus yang berkelanjutan.

Ada dua pendekatan utama yang dapat meningkatkan kenyamanan termal di ruang luar ruangan, yaitu vegetasi dan naungan buatan. Morakinyo et al. (2020), Vegetasi, melalui proses evapotranspirasi dan naungan buatan, dapat menurunkan suhu lingkungan sebesar 3,8°C dan meningkatkan kelembaban relatif sebesar 5-10%. Kong et al. (2017), juga menulis tentang teori dasar peran vegetasi dalam kondisi iklim mikro, yang mengidentifikasi mekanisme pendinginan melalui intersepsi radiasi matahari (hingga 80%) dan penambahan uap air melalui proses transpirasi. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa efektivitas vegetasi bergantung pada karakter morfologi tanaman, kerapatan tajuk, dan pola penanaman. Dalam konteks naungan buatan, Shashua-Bar et al. (2011), mencatat bahwa desain dan material yang tepat dapat menurunkan suhu permukaan antara 6°C dan 8°C dan bahkan mengurangi radiasi langsung hingga 90%. Taleghani (2018), membuktikan kerangka teori untuk evaluasi kinerja termal dari berbagai jenis naungan dengan penekanan pada geometri, material, dan orientasi. Studi menunjukkan bahwa material dengan albedo tinggi dan kapasitas panas rendah adalah yang terbaik dalam memperoleh hasil yang baik dalam mengurangi suhu. Studi benchmarking oleh Brown et al. (2015), di berbagai kampus mengindikasikan bahwa penerapan strategi pendinginan pasif akan meningkatkan jumlah pengguna ruang terbuka sebesar 45% dan meningkatkan durasi aktivitas di luar ruangan rata-rata 2-3 jam per hari.

Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan melalui analisis komparatif efektivitas vegetasi dan naungan buatan dalam konteks ruang terbuka kampus di daerah beriklim tropis. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi pedoman untuk membantu merumuskan prinsip-prinsip dalam desain ruang terbuka kampus yang nyaman secara termal dan berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari, menilai, dan membandingkan efisiensi vegetasi dan naungan

buatan dalam meningkatkan kenyamanan termal ruang terbuka di dalam kampus. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada area kampus yang berada pada kondisi iklim tropis terutama pada zona kegiatan utama seperti Taman S3, Taman S2, dan taman depan gedung A.

TINJUAN PUSTAKA

Kenyamanan termal telah menjadi faktor penting dalam pertimbangan desain ruang terbuka, terutama dalam pengaturan kampus yang biasanya menjadi pusat acara akademis maupun sosial. ASHRAE (2017), mengartikan kenyamanan termal sebagai sebuah keadaan pikiran yang menyatakan kepuasan terhadap lingkungan termal, dan definisi ini menarik perhatian pada aspek subjektif dan objektif dari pengalaman termal. Konsep ini menjadi lebih rumit ketika diterapkan pada ruang terbuka, karena ada berbagai faktor lingkungan dan pribadi yang bekerja sama dalam menciptakan kenyamanan. Suyono & Prianto (2018), telah mengidentifikasi tiga variabel utama iklim yang berkaitan dengan kenyamanan termal: suhu, kelembapan, dan pergerakan angin. Interaksi antara ketiga variabel ini menciptakan mikro-klimat dalam ruangan yang secara langsung memengaruhi kenyamanan penghuni di ruang terbuka. Pemahaman ini dilanjutkan Prianto & Depecker (2003), yang menyatakan bahwa penting untuk menyadari bahwa kenyamanan thermal adalah fungsi yang tidak hanya bergantung pada faktor lingkungan tetapi juga pada faktor manusia (tingkat aktivitas, jenis pakaian, mode adaptasi termal). Kampus tropis, dengan sinar matahari dan kelembapan sepanjang tahun yang tinggi memang lebih rumit dalam menciptakan kenyamanan termal. Brown et al. (2015), melaporkan bahwa pada radiasi matahari maksimum, suhu permukaan ruang terbuka kampus dapat mencapai 42°C. Angka ini jauh di atas suhu zona kenyamanan manusia yaitu 23–29°C. Kondisi ini dapat menjadi faktor penyebab utama bagi aktivitas dan produktivitas lingkungan akademik.

Peran Vegetasi dalam Kenyamanan Termal

Vegetasi telah terbukti memiliki fungsi penting untuk menciptakan kenyamanan termal di ruang terbuka dengan beberapa cara alami. Rahman et al. (2020), menunjukkan potensi kanopi pohon untuk mengurangi suhu sekitar 2-4°C karena evaporasi dan peneduhan. Proses penguapan dan transpirasi air dari bumi yang menurunkan suhu, membantu secara alami meningkatkan tingkat kelembapan menciptakan iklim mikro yang lebih nyaman. Berbeda dengan keadaan yang tidak vegetasi, Aghamolaei et al. (2023), mendukung hasil ini, bahwa suhu udara permukaan lebih rendah hingga 8°C di area yang ditumbuhi vegetasi dibandingkan dengan area yang tidak tertumbuhi vegetasi. Efek pendinginan, seperti yang dicatat dalam studi di ini, sangat bergantung pada parameter vegetasi tertentu seperti jenis tanaman yang ditanam, penutupan kanopi dan pola tanam. Studi juga mengungkapkan bahwa efek pendinginan tumbuhan tidak hanya

dilakukan dibawah kanopi, tetapi juga mengoptimalkan area sekitar melalui gerakan udara. Jenis dan kepadatan vegetasi juga merupakan faktor lain yang signifikan untuk efisiensi pendinginan termal. Coutts et al. (2016) melakukan sebuah studi yang mencakup sejumlah aspek yang menunjukkan bahwa pohon dengan kanopi luas dan dedaunan lebat memiliki kemampuan pengurangan suhu yang lebih baik dibandingkan dengan yang memiliki kanopi lebih sempit. Studi tersebut juga menemukan bahwa menanam pohon dalam kelompok-kelompok besar juga menciptakan efek *Urban Cool Island* di sekitar Kampus yang sangat meningkatkan efek pendinginan. Lai et al. (2019), mengungkapkan fakta bahwa pengaturan pola vegetasi yang difokuskan memberikan beberapa efek pendinginan yang lebih baik daripada distribusi vegetasi yang jarang. Vegetasi dapat menghasilkan iklim yang lebih menguntungkan dan naungan yang lebih efisien dalam mengalihkan radiasi sinar matahari langsung. Penelitian ini juga menggarisbawahi pentingnya memperhitungkan pola penggunaan lokasi dan ruang tertentu dalam strategi penghijauan. Kong et al. (2017) mengembangkan metode pengukuran efektivitas vegetasi menggunakan indeks NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Penelitian menunjukkan bahwa kawasan dengan kepadatan vegetasi yang tinggi cenderung memiliki suhu rata-rata yang lebih rendah. Berikut adalah hasil analisis dari chat GPT mengenai nilai NDVI untuk berbagai jenis vegetasi yang umum ditemukan di daerah tropis (ChatGPT, 2024).

Tabel 1. Nilai NDVI untuk berbagai jenis vegetasi yang umum ditemukan di daerah tropis.

Jenis vegetasi	Nilai NDVI	Deskripsi karakteristik
Pohon jati (Tectona grandis)	0.71 - 0.85	Pohon berukuran besar dengan daun yang lebar. Dikenal dengan kayunya yang kuat dan digunakan untuk berbagai keperluan konstruksi. Pohon ini membantu mendinginkan lingkungan sekitar melalui evapotranspirasi, tetapi efeknya tidak sekuat pohon dengan kanopi yang lebih tertutup. Cocok untuk area yang membutuhkan bayangan tetapi tidak berlebihan.
Pohon Mangga (Mangifera indica)	0.75 - 0.85	Pohon tropis dengan daun besar dan penutup yang lebat. Banyak dibudidayakan karena buahnya yang populer. Pohon ini memberikan kenyamanan termal yang luar biasa dengan kanopi yang tebal dengan memotong panas matahari langsung melalui bentuk peneduh yang lebih efektif.

Pohon Kelapa (Cocos nucifera)	0.6 - 0.8	- Ada daun yang panjang dan kanopi yang terbuka. Pohon kelapa tumbuh subur di daerah pesisir dan memiliki daya tahan terhadap kondisi panas dan lembap. Pohon ini memberikan naungan yang lebih ringan, tetapi efek pendinginannya tidak sebesar pohon tropis lainnya karena kanopinya yang terbuka.
Pohon Meranti (Shorea spp.)	0.8 - 0.9	- Pohon-pohon besar dengan tajuk yang rapat dan daun-daun yang besar terletak di hutan hujan tropis di Asia Tenggara. Pohon-pohon ini efektif dalam menurunkan suhu di sekitarnya melalui proses peneduh dan evapotranspirasi yang cukup besar, sehingga meningkatkan kenyamanan termal lingkungan perkotaan.
Pohon Mahoni (Swietenia macrophylla)	0.7 - 0.85	- Pohon tropis dengan kanopi luas dan daun besar, dikenal sebagai pohon kayu keras. Pohon ini memberikan kenyamanan termal dengan naungan yang cukup lebat, mengurangi suhu di sekitarnya secara efektif melalui penghalang sinar matahari.
Pohon Merbau (Intsia bijuga)	0.8 - 0.9	- Pohon dengan kanopi rapat dan daun besar biasanya ditemukan di hutan tropis. Pohon ini dikenal tahan terhadap lingkungan ekstrim dan mampu memberikan naungan yang luas dan rapat, yang sangat baik untuk mengurangi panas dan meningkatkan kenyamanan termal.
Pohon Cendana (Santalum album)	0.6 - 0.8	- Pohon kecil dengan daun sempit dan jarang, yang banyak ditemukan di hutan tropis, memiliki efek pendinginan yang lebih kecil daripada pohon besar lainnya karena kanopinya yang lebih terbuka dan daunnya yang lebih jarang. Namun, tetap memberikan naungan di tempat terbuka.
Pohon Akasia (Acacia spp.)	0.6 - 0.8	- Pohon ini memiliki kanopi yang lebih terbuka dengan daun kecil dan sering digunakan untuk memperbaiki lahan gersang atau pasca kebakaran. Pohon ini juga memberikan naungan yang lebih terbatas dengan efek pendinginan yang lebih rendah, tetapi masih membantu mengurangi panas langsung di kota.

Efektivitas Naungan Buatan

Naungan buatan menawarkan sudut pandang yang berbeda dalam pengelolaan kenyamanan termal ruang terbuka. Kumar & Kaushik (2005), melalui penelitian yang mendetail, menunjukkan bahwa efisiensi naungan buatan sangat bergantung pada kompleksitas desain dan pemilihan bahan yang digunakan yang mampu mengurangi suhu di bawah struktur sebesar 5-7 °C dalam kondisi optimal.

Parameter seperti orientasi struktur terhadap matahari, geometri naungan, dan karakteristik material yang digunakan penting dalam peneduhan. Perencanaan naungan yang tepat, dimungkinkan untuk mengembangkan naungan yang dapat maksimal memberikan bayangan di pagi dan sore hari selama jam-jam puncak radiasi.

Taleghani (2018), mendalami pemahaman sebelumnya dengan mengidentifikasi serangkaian faktor kunci yang mempengaruhi performa termal naungan buatan. Aspek geometri dan orientasi struktur naungan, termasuk bentuk, sudut kemiringan, ketinggian, dan luas area yang dinaungi, harus dipertimbangkan secara cermat dalam proses perancangan. Karakteristik material seperti nilai albedo, emisivitas, kapasitas panas, dan konduktivitas termal juga memainkan peran penting dalam menentukan efektivitas naungan. Selain itu, perpaduan naungan dengan elemen lanskap di sekitarnya serta pengaruhnya terhadap sirkulasi udara adalah beberapa aspek penting untuk memastikan kenyamanan termal di ruang tertentu.

Perbandingan Efektivitas Vegetasi dan Naungan Buatan

Secara efektif, terdapat kelebihan yang dimiliki baik vegetasi maupun naungan buatan. Menurut Ouyang et al. (2024), vegetasi berkontribusi pendinginan yang relatif lebih ekosistem serta berkelanjutan, sedangkan naungan buatan memiliki tempat dan desain yang lebih baik di dalam penempatan dan kontrol.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode observasi langsung untuk mengukur dan membandingkan kondisi termal di tiga lokasi berbeda pada ruang terbuka kampus. Pengamatan dilakukan selama 24 jam penuh untuk mendapatkan profil suhu dan kelembaban yang komprehensif. Waktu pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 29 Agustus 2024 mulai pukul 06.00 WIB hingga 30 Agustus 2024 pukul 06.00 WIB, dengan pemilihan hari Minggu untuk meminimalkan pengaruh aktivitas manusia terhadap pengukuran.



Gambar 1. Peta Titik Lokasi Penelitian di Ruang Terbuka Universitas Diponegoro

Lokasi penelitian mencakup tiga area taman berbeda di Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro seperti terlihat pada Gambar 1. dan Tabel 2. berikut ini:

Tabel 2. Foto lokasi dan deskripsi karakteristik taman.

Lokasi	Foto lokasi	Deskripsi karakteristik taman
Taman S3 (Area terbuka dengan naungan buatan)		Area terbuka dengan atap. Menggunakan material lantai paving block. Dilengkapi furniture berupa meja dan bangku besi untuk area duduk. Area ini berfungsi sebagai ruang komunal yang terlindung dari cuaca.
Taman S2 (Area terbuka dengan vegetasi padat)		Taman S2 menampilkan visual yang lebih natural dengan penggunaan material alami, dimana terdapat bangku-bangku yang terbuat dari beton cetak yang diletakkan di antara vegetasi dan pepohonan rindang. Lantai taman ini mengkombinasikan area perkerasan dengan area hijau yang ditumbuhi rumput dan tanah yang tertutup dedaunan kering.
Taman Depan Gedung A (Area terbuka dengan naungan alami minim)		Taman ini pohon-pohon yang bertugas untuk menaungi taman ini hanya sedikit sehingga taman menggunakan material utama paving block pada lantai. Memiliki tempat duduk dari konstruksi beton dengan finishing

batu alam yang terintegrasi dengan pot tanaman permanen.

Pengumpulan data primer dilakukan menggunakan Digital Temperature and Humidity Data Logger yang ditempatkan pada posisi tegak di setiap lokasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.



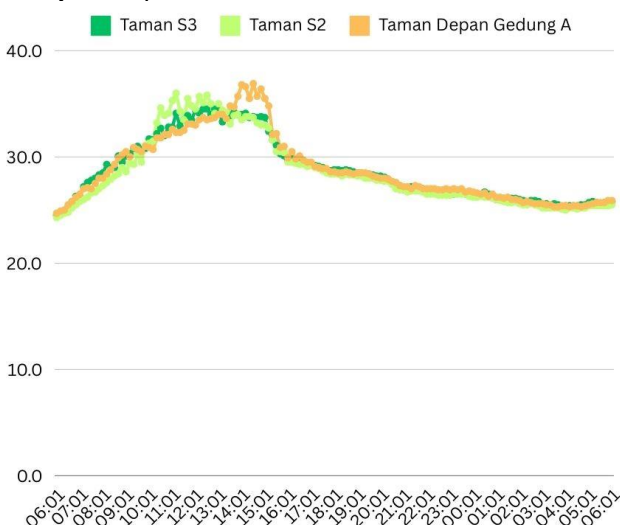
Gambar 2. Lokasi Penempatan Data Logger (a.) Taman S3, (b.) Taman S2, (c.) Taman Depan Gedung A
Sumber: Dokumentasi Penulis, 2024

Pada Taman S3, alat diletakkan di bawah naungan buatan, sementara pada Taman S2 dan Taman Depan Gedung A, alat ditempatkan tanpa naungan. Data yang dikumpulkan meliputi temperatur udara dalam derajat Celcius dan kelembaban relatif dalam persentase.

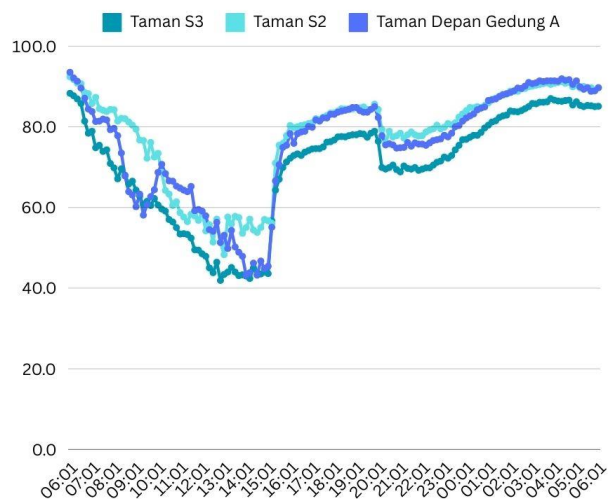
Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data klimatologi dari BMKG setempat, peta masterplan kampus, dan literatur terkait standar kenyamanan termal. Variabel yang diamati terdiri dari variabel bebas (kondisi naungan, kepadatan vegetasi, dan waktu pengukuran) dan variabel terikat (temperatur udara dan kelembaban relatif). Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan menghitung nilai rata-rata suhu dan kelembaban, menganalisis fluktuasi kondisi termal harian, dan membandingkan data antar lokasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran selama 24 jam di tiga lokasi berbeda, ditemukan perbedaan signifikan dalam profil suhu dan kelembaban seperti ditunjukkan pada Grafik 1 dan Grafik 2.



Grafik 1. Grafik temperature suhu dari ketiga taman.
Sumber: Analisa Penulis, 2024



Grafik 2. Grafik kelembaban dari ketiga taman.
Sumber: Analisa Penulis, 2024

Taman S3 (Area terbuka dengan naungan buatan)

Area taman yang ternaungi buatan menunjukkan pola perubahan suhu yang menarik selama 24 jam waktu pengamatan. Pada lokasi ini, pengukuran dilakukan pada pagi hari, suhu tercatat sebesar 24,5°C. Pada saat yang bersamaan, kelembaban udaranya cukup tinggi yaitu 88,3%. Ketika matahari bergerak diatas kepala dan sinarnya sudah mulai terik, maka keadaan di lokasi ini mulai berubah dan suhu secara bertahap mulai meningkat. Kenaikan suhu yang terjadi tidak begitu cepat karena naungan buatan berhasil menghalangi sinar matahari langsung. Hal ini terlihat dari kenaikan suhu yang lebih terkendali dibanding area lain yang diobservasi.

Ketika jarum jam menjelang tengah hari, suhu pada area naungan buatan mencapai nilai tertingginya yakni 34,5°C. Meskipun suhu meningkat ke angka yang sangat tinggi, kenaikan yang tercatat tetap lebih rendah dibandingkan dengan area lain. Ini adalah bukti bahwa naungan buatan cukup efektif dalam mencegah panas matahari yang signifikan. Namun, mungkin perubahan kelembaban udara yang paling menarik untuk diamati. Dari pagi hingga siang hari, kelembaban menurun cukup drastis. Terpantau pada pukul 12:51 kelembaban udara mencapai titik terendahnya yaitu 41,9%.

Penurunan kelembaban yang drastis ini terjadi karena naungan buatan hanya bisa menghalangi sinar matahari, tapi tidak bisa mengatur kelembaban udara seperti yang dilakukan oleh tanaman. Tumbuhan dapat memindahkan uap air ke atmosfer melalui transpirasi dan proses pernapasan yang secara keseluruhan disebut evapotranspirasi. Di area naungan buatan tidak ada proses ini, maka kadar kelembaban menjadi cukup tinggi pada siang hari yang panas. Ketika waktu sudah sore, suhu sudah mulai menurun seiring dengan matahari yang mulai berkurang intensitasnya. Kelembaban udara juga mulai naik kembali meski tidak secepat daerah yang banyak terdapat tumbuhan. Pola perubahan suhu dan kelembaban pada area naungan buatan ini menunjukkan bahwa struktur naungan telah

terbukti dapat mengontrol suhu tetapi tidak dapat mengontrol kelembapan dengan baik.

Taman S2 (Area terbuka dengan vegetasi padat)

Area taman yang dikelilingi berbagai jenis tanaman menunjukkan pola suhu serta kelembapan yang berbeda. Pada waktu pagi hari, suhu telah dicatat yaitu, 24.3°C disertai dengan tingkat kelembapan udara yang juga cukup tinggi 92.4%. Kenaikan suhu yang bertahap merupakan faktor pembeda bagi daerah ini. Kenaikan suhu di daerah taman ini lebih lambat dan terkendali bila dibandingkan dengan taman lain. Sementara pada siang hari suhu area ini dapat mencapai 36 °C, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu setinggi itu cukup lebih lama.

Hal menarik terjadi pada kelembapan udara di area bervegetasi padat ini. Meski kelembapan mengalami penurunan pada siang hari, tetapi penurunannya tidak sedrastis area lain. Kelembapan terendah tercatat 48,3%, masih lebih tinggi dibandingkan area naungan buatan maupun area terbuka meskipun pada siang hari kelembapan area tersebut menjadi berkurang. Hal ini disebabkan oleh adanya evapotranspirasi oleh vegetasi di kawasan tersebut. Proses ini berlangsung terus-menerus sepanjang hari dan dengan demikian kelembapan udara tetap pada batas yang nyaman.

Ketika sore hari, vegetasi yang lebat memiliki kemampuan untuk mengembalikan kelembapan lebih cepat. Kadar atmosfer kembali ke 80-85%. Suhu yang mulai turun bersamaan dengan meningkatnya kelembapan juga nampaknya menambah kenyamanan bagi para pengguna taman. Selain itu, tanaman juga berperan aktif dalam menyejukkan ruang luar serta mengatur kelembapan udara.

Vegetasi yang lebat juga berfungsi sebagai penghalang angin serta membantu dalam stabilisasi iklim mikro. Dedaunan tanaman berfungsi dalam penyaringan debu dan pencemaran udara serta berfungsi dalam pernapasan dengan pembentukan oksigen. Semua proses alami ini saling mendukung dalam menciptakan kenyamanan buat manusia secara thermal.

Taman Depan Gedung A (Area terbuka dengan naungan alami minim)

Area taman yang minim naungan vegetasi ini menunjukkan kondisi paling ekstrem dalam hal perubahan suhu dan kelembapan. Pagi hari dimulai dengan suhu 24,7°C dan kelembapan sangat tinggi yaitu 93,5%. Namun, begitu matahari mulai memancarkan sinarnya dengan kuat, suhu naik dengan sangat cepat. Tidak adanya penghalang radiasi matahari yang memadai, baik berupa naungan buatan maupun vegetasi, membuat area ini sangat rentan terhadap pemanasan.

Di siang hari suhu di area ini mencapai puncaknya 36.9 °C dan hal ini merupakan yang tertinggi dari ketiga area yang di lakukan pengamatan. Kenaikan suhu yang drastis ini di akibatkan oleh adanya penurunan kelembapan yang juga sangat tajam yang mencapai titik terendah 43.2%. Perubahan yang luar biasa ini terjadi karena ketidakadanya faktor yang dapat mengendalikan keadaan tersebut.

Area ini di sinari matahari secara langsung dan hal tersebut mengakibatkan terjadinya pemanasan yang cepat. Di samping itu juga tidak terdapat evapotranspirasi dari tumbuhan yang cukup yang berfungsi untuk mendinginkan udara. Kondisi ekstrem ini sangat terasa terutama pada jam-jam sibuk kampus, saat banyak mahasiswa dan staf beraktivitas. Panas menyengat dan udara kering membuat area ini menjadi sangat tidak nyaman. Kombinasi tinggi temperatur dan kelembapan rendah seperti situasi di siang hari bisa mengakibatkan ketidak produktifan di wilayah tersebut. Sehingga, segala aktivitas sosial yang berlangsung disana menjadi cukup terasa tidak menyenangkan.

Saat sore menjelang dan intensitas matahari berkurang, area ini juga akan segera mendingin. Perubahan suhu yang signifikan, baik saat naik maupun turun, menunjukkan ketidakstabilan kondisi termal di wilayah tersebut.

Tanpa perlindungan yang dapat memberikan kenyamanan termal, area ini sangat tergantung pada cuaca secara langsung.

KESIMPULAN

Penelitian tentang perbandingan efektivitas vegetasi dan naungan buatan dalam meningkatkan kenyamanan termal di ruang terbuka kampus menghasilkan beberapa temuan penting. Berdasarkan pengukuran suhu dan kelembapan selama 24 jam di tiga lokasi berbeda, dapat disimpulkan bahwa setiap jenis naungan memiliki karakteristik dan kemampuan yang berbeda dalam menciptakan kenyamanan termal.

Vegetasi padat di Taman S2 menunjukkan kinerja terbaik dalam menciptakan kenyamanan termal yang seimbang. Area ini mampu mempertahankan suhu rata-rata 28,5°C dengan kelembapan sekitar 78%, menunjukkan kemampuan vegetasi dalam memoderasi kondisi termal melalui proses evapotranspirasi. Vegetasi tidak hanya berperan dalam menghalangi radiasi matahari langsung, tetapi juga aktif mengatur kelembapan udara dan menciptakan iklim mikro yang stabil.

Naungan buatan di Taman S3, meskipun efektif dalam mengendalikan kenaikan suhu, menunjukkan keterbatasan dalam mengatur kelembapan udara. Area ini mengalami fluktuasi kelembapan yang lebih signifikan, dengan penurunan drastis hingga 41,9% di siang hari. Hal ini mengindikasikan bahwa naungan buatan, walaupun dapat menghalangi radiasi matahari langsung, tidak dapat menggantikan peran vegetasi dalam mengatur kelembapan melalui proses evapotranspirasi.

Taman Depan Gedung A dengan naungan alami minim memperlihatkan kondisi termal paling ekstrem, mencapai suhu tertinggi 36,9°C dengan fluktuasi kelembapan terbesar. Kondisi ini menegaskan pentingnya elemen peneduh, baik vegetasi maupun naungan buatan, dalam menciptakan kenyamanan termal di ruang terbuka. Temuan ini memberikan implikasi penting bagi perancangan ruang terbuka kampus ke depannya.

Integrasi vegetasi yang tepat terbukti menjadi strategi paling efektif dalam menciptakan kenyamanan termal berkelanjutan. Pendekatan terpadu yang mengombinasikan vegetasi dengan naungan buatan dapat menjadi solusi optimal, di mana vegetasi berperan dalam mengatur kelembaban dan suhu secara alami, sementara naungan buatan dapat melengkapi dengan perlindungan tambahan dari radiasi matahari langsung.

Hasil penelitian ini mendukung pengembangan strategi desain ruang terbuka yang responsif terhadap kebutuhan kenyamanan termal pengguna, sejalan dengan konsep kota layak huni dan upaya mitigasi efek urban heat island. Perencanaan ruang terbuka kampus di masa depan sebaiknya memprioritaskan integrasi vegetasi yang tepat, didukung oleh elemen naungan buatan yang strategis, untuk menciptakan lingkungan yang nyaman dan berkelanjutan bagi civitas akademika.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghamolaei, R., Azizi, M. M., Aminzadeh, B., & O'Donnell, J. (2023). A comprehensive review of outdoor thermal comfort in urban areas: Effective parameters and approaches. *Energy & Environment*, 34(6), 2204–2227. <https://doi.org/10.1177/0958305X221116176>
- ASHRAE. (2017). *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Brown, R. D., Vanos, J., Kenny, N., & Lenzholzer, S. (2015). Designing urban parks that ameliorate the effects of climate change. *Landscape and Urban Planning*, 138, 118–131. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.006>
- ChatGPT. (2024, December 2). *Tabel nilai NDVI untuk berbagai pepohonan yang umum ditemukan di daerah tropis*. <https://Chatgpt.Com/c/674e8cec-A324-8013-922d-6e10b86d7ae2>.
- Coutts, A. M., Harris, R. J., Phan, T., Livesley, S. J., Williams, N. S. G., & Tapper, N. J. (2016). Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning. *Remote Sensing of Environment*, 186, 637–651. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.09.007>
- Kong, L., Lau, K. K.-L., Yuan, C., Chen, Y., Xu, Y., Ren, C., & Ng, E. (2017). Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society*, 31, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.018>
- Kumar, R., & Kaushik, S. C. (2005). Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. *Building and Environment*, 40(11), 1505–1511. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.11.015>
- Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of The Total Environment*, 661, 337–353. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>
- Morakinyo, T. E., Ouyang, W., Lau, K. K.-L., Ren, C., & Ng, E. (2020). Right tree, right place (urban canyon): Tree species selection approach for optimum urban heat mitigation - development and evaluation. *Science of The Total Environment*, 719, 137461. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137461>
- NASA Earth Observatory. (2024, December 2). *Earth Observatory*. <https://Earthobservatory.Nasa.Gov/>.
- Ouyang, W., Ren, G., Tan, Z., Li, Y., & Ren, C. (2024). Natural shading vs. artificial shading: A comparative analysis of their cooling efficacy in extreme hot weather. *Urban Climate*, 55, 101870. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101870>
- Prianto, E., & Depecker, P. (2003). Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach. *Energy and Buildings*, 273–280.
- Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M. F., Moser-Reischl, A., Zölich, T., Häberle, K.-H., Rötzer, T., Pretzsch, H., & Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Building and Environment*, 170, 106606. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606>
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., & Erell, E. (2011). The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology*, 31(10), 1498–1506. <https://doi.org/10.1002/joc.2177>
- Suyono, B., & Prianto, E. (2018). KAJIAN SENSASI KENYAMANAN TERMAL DAN KONSUMSI ENERGI DI TAMAN SRIGUNTING KOTA LAMA SEMARANG. *MODUL*, 18(1), 18. <https://doi.org/10.14710/mdl.18.1.2018.18-25>
- Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2011–2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.010>