

PENGARUH MATERIAL LANSEKAP TERHADAP PERUBAHAN IKLIM MIKRO DI KOTA TROPIS LEMBAB DENGAN STUDI KASUS DI KAWASAN PANTAI KOTA MANADO

Zahra

Mahasiswa Program Studi Arsitektur (S2), Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi, Manado
e-mail: zahra1112@student.unsrat.ac.id

Sangkertadi

Dosen Program Studi Arsitektur (S2), Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi, Manado
e-mail: sangkertadi@unsrat.ac.id

Veronica Kumurur

Dosen Program Studi Arsitektur (S2), Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi, Manado
veronicakumurur@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Tujuan studi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh material lansekap terhadap perubahan iklim mikro di lingkungan beriklim tropis lembab. Material lansekap memiliki sifat termofisis tertentu yang dapat mempengaruhi perubahan iklim mikro. Variabel iklim mikro dalam studi ini dibatasi hanya suhu permukaan, dan suhu udara. Sasaran material lansekap adalah bata, tanah keras, pavingstone, pepohonan, dan air kolam taman. Metode penelitian adalah analisis deskriptif kuantitatif. Melalui studi ini dilakukan pengukuran sifat termofisis pada material lokal yaitu bata dan paving-block, dengan menggunakan kalorimeter dan termokopel. Juga di lakukan pengukuran iklim mikro di kawasan jasa di pantai kota Manado, yaitu radiasi matahari, suhu udara, dan suhu permukaan bahan. Kemudian dilakukan perhitungan menggunakan program komputer HEAT2 untuk alat bantu analisis perubahan suhu permukaan berbagai bahan lansekap. Hasilnya menunjukkan bahwa saat tengah hari, pepohonan dapat mereduksi radiasi matahari di naungannya sampai 80 %. Pada saat yang sama, apabila berada di bawah terik matahari, material bata, paving dan tanah keras, dapat menyebabkan suhu permukaan yang bisa mencapai 50 °C. Suhu permukaan air kolam taman juga dapat mencapai 50 °C, namun di kedalaman 50 cm lebih dingin menjadi 25 °C. Air berpotensi sebagai pendingin lingkungan, apabila terjadi pencampuran air dasar kolam dan permukaannya.

Kata kunci : lansekap, material, suhu permukaan, tropis lembab,

ABSTRACT

The purpose of the study is to know the influence of landscape materials on changes of microclimate in a humid tropical sites due to thermophysical properties of materials. Microclimate variables in this study were limited to surface and air temperature. The object materials were bricks, hard-soil, paving-blocks, trees, and garden-pond water. The research method was descriptive quantitative. Measurement of thermophysical properties of local materials, namely brick and pavingstone, were carried out using calorimeter and thermocouples. Measurements of solar radiation, air and surface temperatures were also carried out in a commercial area on the coast of Manado city. Then calculations were realised by using HEAT2 computer program as tool to evaluate surface temperature of various landscape materials. The results show that at midday, trees can reduce solar radiation in their shade by up to 80%. At the same time, when under the sun, brick, paving and hard soil materials, result surface temperatures by up to 50 °C. The surface temperature of garden pond water may reach 50 °C, but at a depth 50 cm it may lower to 25 °C. Water pond-garden has potentiallity to cool the environment, if there is a mixing of the bottom and its surface..

Keywords : tropical humid, landscape, material, surface temperature

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya manusia yang beraktifitas di ruang luar merasa nyaman secara fisiologis apabila berada di lingkungan dengan suhu yang tidak terlalu panas dan tidak juga terlalu dingin, apalagi ditambah hembusan angin sejuk. Namun sengatan panas matahari yang dapat sangat panas di siang hari, menyebabkan rasa tidak nyaman secara termal, sehingga manusia berupaya mencari perlindungan dibawah naungan, misalnya dibawah pohon atau di bawah suatu peneduhan lainnya. Dalam hal ini selain faktor iklim dari atmosfer, morfologi dan anatomi fisik dari arsitektur ruang luar juga berperan sebagai penyebab bervariasinya tingkat nyaman-termal bagi manusia yang berkegiatan, baik pada saat malam maupun siang hari. Dalam hal ini sifat fisikalis dari bahan permukaan lansekap dapat menyebabkan perubahan iklim mikro. Suhu permukaan material yang terkena sengatan matahari di siang hari, dapat menyebabkan radiasi panas material yang juga menambah beban panas ruang luar. Variabel iklim mikro yang paling berpengaruh terhadap skala kenyamanan-termal di ruang luar, adalah suhu radiasi dan suhu udara serta angin (Givoni, 1998; Sangkertadi, 2013; Sangkertadi & Syafriny, 2016).

Morfologi lansekap yang tersusun atas berbagai jenis material diketahui mempengaruhi perubahan iklim mikro, khususnya suhu lingkungan (Thani dkk, 2017). Namun demikian, sifat termofisis material lansekap merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari karakteristik morfologi. Bahkan permukaan air juga mempengaruhi iklim mikro (Lesi, 2017). Sifat termofisis bahan akan mempengaruhi suhu permukaannya dan bersifat radiatif, saat menerima penetrasi radiasi matahari di ruang luar (Szokolay, 2010, Zold & Szokolay, 1997). Sifat morfologi fisis penghijauan juga berpengaruh signifikan terhadap filtrasi radiasi panas matahari (Shahidan dkk, 2007). Apabila diketahui karakteristik termofisis material, maka memudahkan untuk melakukan optimalisasi desain arsitektur lansekap untuk menghasilkan iklim mikro yang nyaman bagi pemakainya (Choi, dkk 2021). Studi studi terdahulu tersebut kebanyakan menggunakan referensi material yang sumber data sifat fisisnya berasal dari literatur terbitan Eropa dan Amerika. Sedangkan dalam kasus penelitian ini, menggunakan material lokal, yang diukur sifat termofisisnya terlebih dahulu, kemudian dilihat dampaknya terhadap respon termal lingkungan. Jadi dugaan bahwa material lokal memiliki sifat termofisis yang berbeda dengan yang ada di literatur, karena itu juga akan menyebabkan respon termal yang berbeda dengan studi sebelumnya.

Secara lebih spesifik, studi ini bertujuan untuk mendapatkan informasi lebih mendalam mengenai besarnya variabel iklim mikro akibat penerapan berbagai jenis material lansekap, yang terdiri atas jenis perkerasan permukaan yang ada di lokasi penelitian (batu bata, paving, tanah), air dan pepohonan. Adapun variabel iklim mikro yang dimaksud meliputi suhu permukaan bahan, suhu udara, dan penetrasi radiasi matahari. Sebagai studi kasus lokasi adalah pada kawasan pantai area komersial Mega Mas di Kota Manado. Pada kawasan tersebut, formasi lansekapnya terdiri atas material perkerasan, maupun pepohonan, dan terdapat pula kolam air taman (Gambar.1). Saat siang hari di ruang luarnya nampak sunyi, mungkin karena faktor iklim mikro yang panas, namun saat malam hari banyak pengunjung beraktifitas di luar.



Gambar.1. Suasana arsitektur lansekap ruang luar di area komersial di pantai Kota Manado.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Di iklim tropis, faktor besarnya energi radiasi matahari menjadi sumber utama penyebab panas lingkungan di ruang luar. Dari sejumlah literatur tentang fisika perpindahan panas dijelaskan bahwa energi panas dari radiasi matahari dan langit sebagian diserap oleh material lansekap, sebagian dipantulkan dan sebagian lagi diteruskan ke tanah (Szokolay, 2010; Zold & Szokolay, 2007; ASHRAE, 2017). Kemudian setelah beberapa saat, material memancarkan panas radiasi ke lingkungan sekitarnya, dikarenakan

keterbatasan kapasitas material dalam menyimpan panas (Noerwasito, 2020). Dalam hal ini maka kapasitas kalor bahan dan sifat emissivitas bahan adalah dua parameter penting untuk mencegah emisi panas yang terlalu besar ke lingkungan sekitarnya. Selain itu sifat konduktifitas termal bahan juga mempengaruhi daya mampu suatu material untuk menyalurkan energi panas ke material lainnya, misalnya dari permukaan paving ke tanah.

Secara mendasar pengertian dari iklim mikro adalah kondisi iklim pada daerah dengan luasan atau fungsi yang terbatas, namun komponennya sebagian besar sama dengan pada kondisi iklim makro, yakni antara lain meliputi suhu udara, kelembaban, angin, serta penyinaran matahari. Pembahasan iklim mikro umumnya ditujukan untuk kepentingan studi tertentu seperti kawasan perkotaan, kawasan pedesaan, atau yang lainnya. (Lakitan, 2002; Karyati, 2019)

Karena dalam lingkup area yang terbatas maka perubahan iklim mikro dipengaruhi oleh unsur fisik yang ada di lingkungan area terbatas tersebut. Misalnya pada kawasan pusat perkotaan, maka pengaruh arsitektur kota atau lansekap kota akan sangat signifikan dalam proses perubahan unsur iklim mikro, misalnya perubahan suhu udara, kelembaban dan pergerakan angin (Gaitani dkk, 2011; lek dkk, 2014).

Dalam lingkup pengetahuan sains arsitektur sifat termofisis bahan yang paling utama dipertimbangkan meliputi kapasitas kalor, konduktifitas termal, emisivitas dan masa jenis (Szokolay, 2010, Noerwasito, 2020). Radiasi matahari yang menerpa bidang horisontal di daerah beriklim tropis, saat tengah hari dapat mencapai lebih dari 1000 W/m² (Lakitan, 2002). Panas ini dapat menyebabkan suhu permukaan lingkungan yang bisa mencapai 40 °C pada material perkerasan seperti beton (Takebayashi & Kyogoku, 2018). Faktor warna material pun juga berpengaruh, karena berdampak pada sifat albedo, yang kemudian mempengaruhi nilai emissivitas, dan pada akhirnya menyebabkan tingginya suhu radiasi atau suhu permukaan bahan (Lesi, 2017; Joo-Hwa & Lay, 2006)

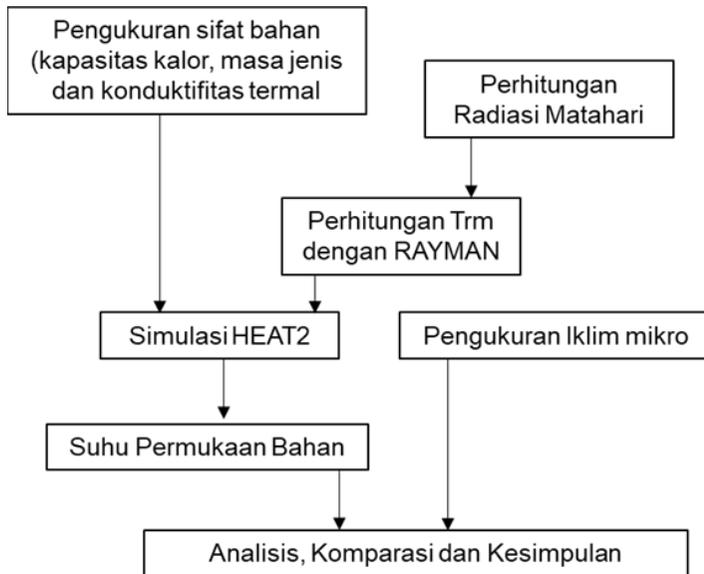
3. METODE PENELITIAN

Proses penelitian ini menerapkan metode deskripsi kuantitatif yang mencakup proses pengukuran, perhitungan praktis dan simulasi komputer. Secara skematik proses penelitian ditunjukkan melalui Gambar. 2. Lokasi pengukuran lapangan di kawasan pantai Mega Mas, Kota Manado (Gambar.1)

3.1. Pengukuran Sifat bahan

Bahan material yang dipilih untuk diukur sifat termofisis material dalam studi ini adalah batu bata, dan paving-block, yang merupakan produk

tradisional lokal. Pengukuran laboratorium untuk mengetahui nilai kapasitas kalor (c) dengan satuan $\text{Joule/kg}^{\circ}\text{C}$ dan konduktivitas termal dengan satuan $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$, serta massa jenis dalam satuan kg/m^3 . Alat ukur yang di gunakan meliputi kalorimeter joule, termokopel, yang didukung dengan perangkat timbangan digital, jangka ukur, gelas ukur, termometer air raksa, serta infrared thermometer. Bahan lainnya yang juga menjadi bagian dari proses penelitian, seperti tanah dan air, menggunakan data umum (kapasitas kalor, konduktivitas termal) yang sudah di sejumlah literatur.



Gambar. 2. Diagram proses penelitian

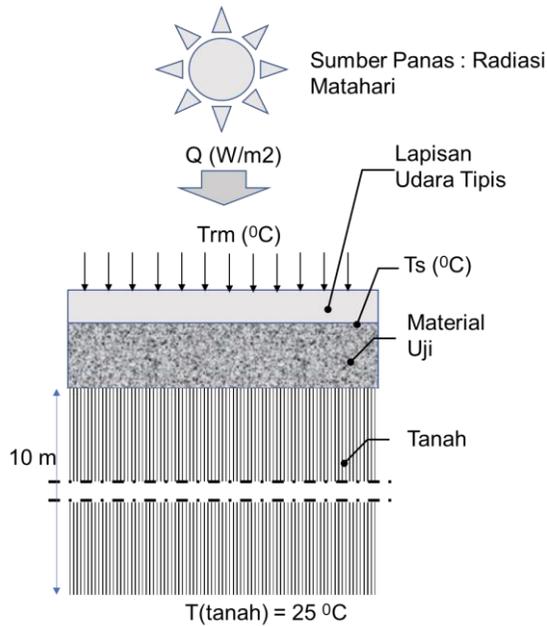
3.2. Pengukuran Iklim Lingkungan

Pengukuran iklim lingkungan meliputi suhu udara, suhu permukaan bahan dan radiasi matahari. Dilakukan saat matahari tidak tertutup awan. Peralatan terdiri atas infra red thermometer (untuk mengukur suhu permukaan material), solar power meter (untuk mengukur radiasi matahari) dan thermometer digital (untuk mengukur suhu udara). Pengukuran suhu permukaan dan radiasi dilakukan pada titik yang terletak dibawah naungan pepohonan berdaun rapat, dan yang menghadap pada langit terbuka terkena sinar matahari langsung. Selain itu juga dilakukan pengukuran suhu permukaan air kolam taman, dan suhunya pada dasar kolam sedalam 50 cm. Pengukuran suhu udara pada titik ketinggian kegiatan manusia yaitu 1.5 m dari permukaan bahan.

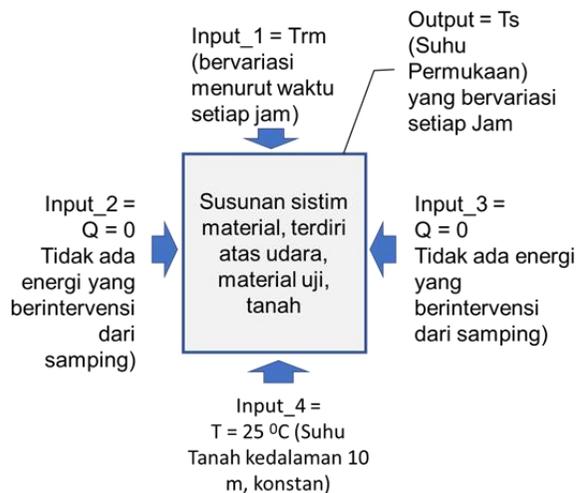
3.3. Simulasi Komputasi dan Perhitungan Praktis

Perhitungan simulasi perpindahan panas konduksi menggunakan program komputer HEAT2, yakni untuk mengetahui besarnya suhu

permukaan bahan akibat penetrasi radiasi dari bagian atas, dimana pemodelan geometriknnya sebagaimana pada gambar 3 dan 4. Radiasi matahari dari atas, selanjutnya menyebabkan suhu radiasi yang menerpa material dimana terdapat lapisan udara di atasnya (lapisan udara tipis berperan sebagai suatu film conductance dalam mekanisme perpindahan panas konduksi).

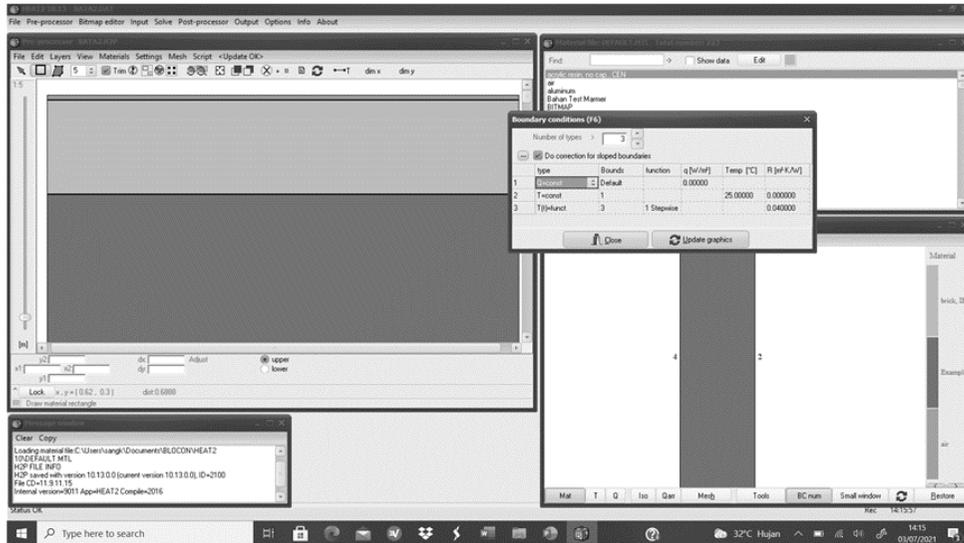


Gambar.3. Pemodelan sistim material untuk proses simulasi komputasional

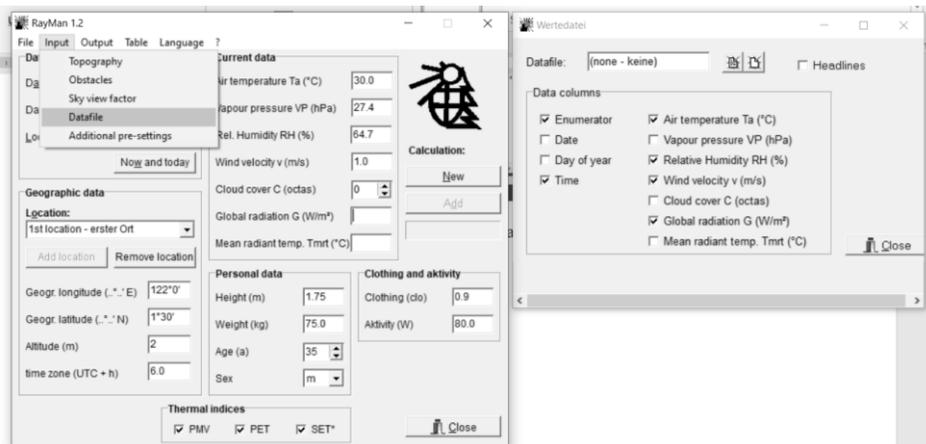


Gambar.4. Pemodelan Input-Boundary layer dan Output untuk simulasi perpindahan panas 2 dimensi menggunakan HEAT2

Pada HEAT2, *solver* yang diterapkan adalah *transient calculation*, dengan input boundary (pada bagian atas material) berupa angka temperatur yang bervariasi setiap jam, yang merepresentasikan suhu radiasi dari matahari. Gambar.5. menunjukkan interface proses input pada HEAT2. Program komputer RAYMAN (Gambar.6) digunakan sebagai alat bantu untuk menghitung besarnya suhu radiasi rata-rata (T_{rm}) karena pengaruh energi radiasi matahari di lingkungan ruang luar, dimana T_{rm} menjadi input boundary pada bagian atas dari sistem material.



Gambar.5. Tampilan layar (interface) proses input data pada program HEAT2 versi 10.



Gambar.6. Proses input data pada program RAYMAN

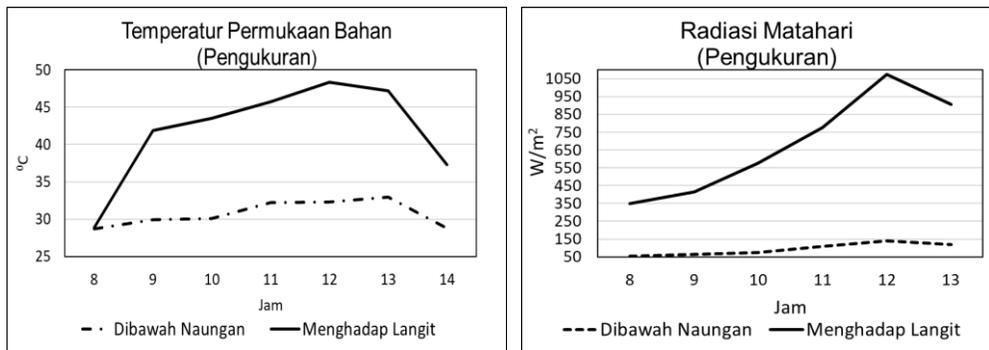
Perhitungan radiasi matahari dilakukan dengan menggunakan formulasi perhitungan praktis pada umumnya atau yang direkomendasikan

oleh ASHRAE (Szokolay, 2010), dengan menggunakan spread sheet MS-Excel. Suhu tanah bagian dalam ditetapkan konstan 25 °C. Berdasarkan hasil penelitian di daerah tropis, bahwa suhu tanah pada kedalaman 10 m relatif konstan pada angka 20 °C (Cui dkk, 2011). Namun studi lainnya oleh Mukhtar dkk, 2017) Menunjukkan angka suhu tanah 28.95°C yang juga konstan pada kedalaman 10 m. Karena itu dalam studi ini diambil nilai tengah yaitu 25°C.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Iklim Mikro di Kawasan Pantai Kota Manado

Hasil pengukuran iklim mikro di kawasan pantai Kota Manado (1.5 LU), yakni di area komersial pantai Mega Mas, pada tanggal 10 Januari Tahun 2020, ditunjukkan pada Gambar 6 dan Tabel.1 Pada situasi menghadap sinar matahari, karena dipengaruhi oleh terik panas matahari maka suhu permukaan bahan lansekap (tanah) hampir mencapai 50 derajat celsius pada saat puncak panas siang hari. Sedangkan apabila berada di bawah naungan pohon yang rindang (jenis pohon Tanjung), maka suhu permukaan bahan tertinggi hanya mendekati 35 derajat Celcius pada pukul 13.00, atau lebih rendah sampai mendekati 30% dibandingkan apabila menghadap sinar langsung. Suhu permukaan bahan (tanah) dari kedua situasi ini mulai berbeda setelah jam 08.00, dimana pengaruh matahari sudah mulai nampak untuk memeperanas material. Pola perubahan panas, menunjukkan suatu kurva yang memuncak pada saat situasi tengah hari, dan menurun saat pagi dan sore hari. Pola pergerakan suhu permukaan material tersebut menunjukkan tendensi yang sama dengan perubahan besarnya radiasi matahari hasil pengukuran di hari dan jam yang sama. Besarnya radiasi matahari mencapai puncak pada angka hampir menyentuh 1050 W/m², pada saat jam 12 siang di titik yang menghadap langit. Sebaliknya di titik yang di naungi pepohonan, angka tertinggi di jam 12 siang, hanya mendekati 150 W/m², atau turun drastis sampai sekitar 80%. Para peneliti lain juga menemukan hal yang setara misalnya penelitian di Penang Malaysia, yang terungkap bahwa berkat pepohonan berdaun rapat, maka suhu permukaan tanah dapat tereduksi sampai 17%, dan radiasi matahari dapat tersaring sampai sekitar 80% (Tukiran, dll, 2016).



Gambar.6. Hasil pengukuran suhu permukaan bahan dan radiasi matahari

Tabel.1. Hasil Pengukuran suhu dan radiasi matahari.

Jam	Ta	Ts_1	Ts_2	G_1	G_2
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	W/m^2	W/m^2
8	29.7	28.7	28.9	54	350
9	29.2	29.9	41.9	65	416
10	30.9	30.1	43.5	76	575
11	30.4	32.2	45.7	109	775
12	31.2	32.3	48.3	139	1075
13	30;4	33	47.2	118	906
14	28.5	28.8	37.3	NV	NV

Keterangan Ta: suhu udara; Ts_1:suhu permukaan tanah dibawah naungan; Ts_2: suhu permukaan tanah tanpa naungan; G_1: radiasi global (horisontal) di bawah naungan; G_2: radiasi global (horisontal) tanpa naungan

4.2. Sifat Termofisis Bahan Lokal

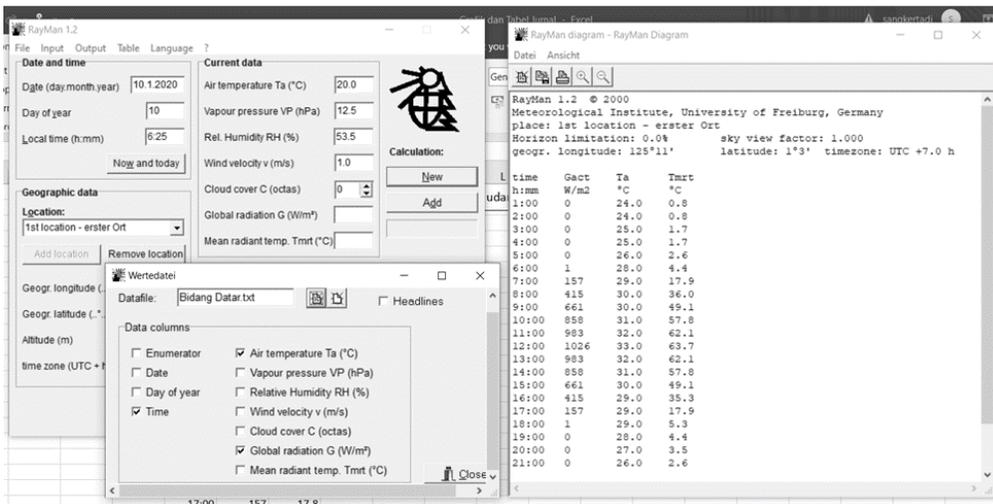
Hasil pengukuran sifat kapasitas kalor dan konduktifitas termal bahan pavingstone dan batu bata menunjukkan perbedaan dengan angka yang pada umumnya terdapat di sejumlah literatur. Bahan pavingstone buatan lokal, setelah diukur menunjukkan sifat konduktifitas termal dengan nilai yang berbeda cukup jauh dibandingkan yang terdapat di literatur (Tabel.2) Hal ini mungkin disebabkan karena sifat fisika material dasar penyusunnya yang terdiri dari batuan asli atau kerikil yang lebih keras dan padat. Untuk bahan batu bata, hasil pengukuran sifat sifat termofisis, menunjukkan angka yang mendekati atau pada rentang yang umumnya terdapat di literatur. Khusus material seng lokal, tidak dilakukan uji konduktifitas termal. Informasi mengenai data termofisis material dari literatur dapat dilacak di sejumlah situs antara lain di www.engineeringtoolbox.com, dll.

Tabel.2. Hasil pengukuran sifat termofisis

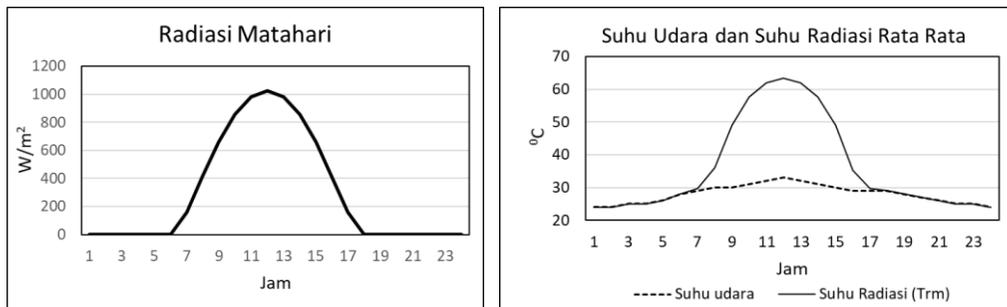
Sifat Termofisis	Satuan	Pavingstone		Bata	
		pengukuran	literatur	pengukuran	literatur
Massa Jenis	kg/m ³	1947	2000 - 2400	1662	1400 - 2400
Kapasitas Kalor	J/kg °C	1423	800 - 1200	1120	800 - 900
Konduktifitas termal	W/m °C	4.1	1 - 2.1	0.9	0.6 - 1

4.3. Simulasi Suhu Permukaan Material

Dalam proses perhitungan menggunakan HEAT2, sebagai input dari *boundary* di bagian atas sistim material adalah panas radiasi dalam bentuk suhu radiasi karena pengaruh radiasi dan suhu udara. Jadi terlebih dahulu dibuat perhitungan radiasi matahari (mulai saat terbit sampai tenggelam), kemudian menghitung suhu radiasi rata-rata (Trm), yang selanjutnya Trm ini menjadi input pada proses simulasi dengan HEAT2. Konversi dari Radiasi dan Suhu udara menjadi suhu radiasi (Trm) menggunakan program RAYMAN (Gambar7). Hasil perhitungan radiasi matahari dan suhu radiasi rata-rata ditunjukkan pada Gambar.7 dan grafiknya di Gambar. 8. Pada saat radiasi matahari mencapai puncak pada jam 12 siang sebesar 1026 W/m², dan suhu udara sebesar 33 °C maka suhu radiasi rata rata mencapai 63.7 °C. Pada saat tidak ada sinar matahari (malam hari), maka suhu radiasi diterapkan sama dengan suhu udara.

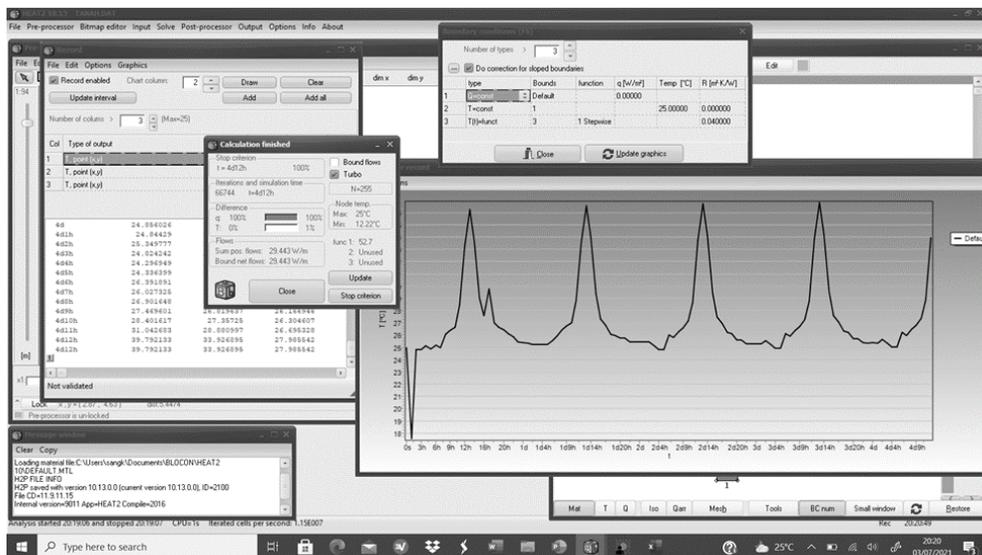


Gambar.7. Tampilan proses input dan output dari Rayman



Gambar.8. Radiasi Matahari dan Suhu radiasi rata rata

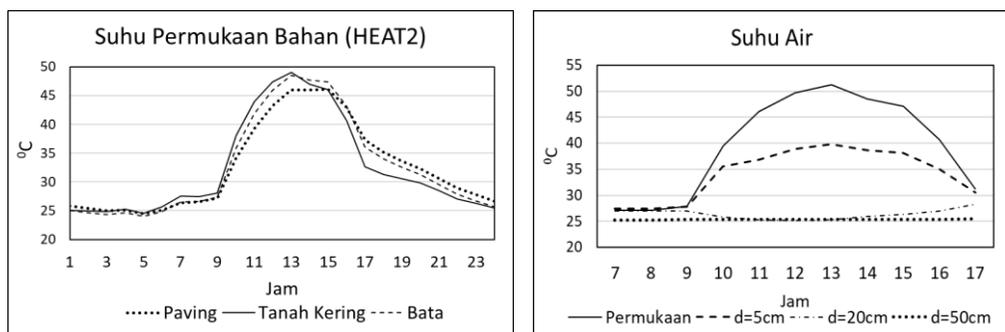
Proses simulasi komputasional dengan HEAT2, dapat menghasilkan keluaran berupa suhu sejumlah titik di material pada posisi yang dikehendaki, yang dalam hal ini adalah pada titik di permukaan bahan.



Gambar.9. Proses simulasi dengan HEAT2

Hasil simulasi suhu permukaan bahan dengan menggunakan HEAT2, ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10. Suhu permukaan bahan lansekap pavingstone, tanah keras, dan bata, menunjukkan bahwa pada saat tengah hari, suhu tertinggi dapat mencapai pada kisaran antara 45 °C sampai 50 °C, yang terjadi pada pukul 13 sd 15. Terjadi kelambatan suhu puncak dibandingkan terhadap saat angka tertinggi panas matahari jam 12. Hal ini disebabkan karena faktor inersia bahan. Faktor kapasitas kalor dan konduktifitas termal bahan, serta proses perpindahan panas ke dalam tanah, juga dapat berkontribusi menyebabkan terjadinya pergeseran waktu puncak panas sampai sekitar 1 sampai 3 jam setelah puncak panas matahari.

Kejadian ini juga dikenal sebagai suatu *time-lag* dari material terhadap beban panas. Sebagai perbandingan bahwa suhu radiasi permukaan material paving mencapai puncak 40 °C bisa terjadi Jepang, meskipun iklimnya berbeda dengan tropis, sebagaimana di ungkapkan oleh Takebayashi dan Kyogoku (Takebayashi dan Kyogoku, 2018). Jadi jika terjadi suhu puncak sampai mendekati 50 °C adalah memungkinkan. Dalam hal material air, simulasi suhu badan air menunjukkan karakteristik tertentu, dimana perubahan suhu menurut kedalaman air juga dapat di ketahui melalui perhitungan simulasi. Pada saat dipermukaan, suhu muka air bisa hampir sama dengan suhu benda keras lainnya, yakni mencapai angka puncak tertinggi menyentuh 50 °C. Namun di kedalaman 20 cm suhu puncak sudah menurun jauh hingga sekitar 25 °C, Bahkan pada kedalaman 50 cm, suhu air relatif stabil pada angka sekitar 25 °C, pada periode jam 7.00 sampai 17.00. Dengan demikian, air pada kedalaman 50 cm, apabila dicampurkan dengan air permukaan, maka akan ada kecenderungan penurunan suhu air secara menyeluruh, dimana situasi percampuran ini akan berpotensi menurunkan suhu lingkungan iklim mikro.



Gambar.10. Hasil simulasi dengan HEAT2 untuk suhu material padat dan air

Hasil perbandingan antara pengukuran dan simulasi, ditunjukkan pada Tabel.3, dimana tidak terjadi perbedaan yang terlalu jauh, baik untuk kasus air, maupun material padat. Ini menunjukkan validitas dari hasil simulasi komputasional yang didapatkan pada studi ini.

Tabel.3. Perbandingan suhu air dan permukaan bahan (°C)

Waktu	Air (kedalaman 1cm)		Paving		Tanah kering	
	ukur	simulasi	ukur	simulasi	ukur	simulasi
10	33.2	36.55	-	-	39.3	38.09
11	38.4	41.54	45.7	39.31	40.1	43.96
12	38.8	44.4	48.3	43.29	45.1	47.43
13	-	-	47.2	46.01	43	49.08

5. KESIMPULAN

Sebagai kesimpulan melalui studi ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

- a) Sifat termofisis bahan lansekap, mempengaruhi kuantitas iklim mikro sekitarnya, khususnya komponen suhu radiasi lingkungan yang disebabkan oleh suhu permukaan material tersebut. Sifat kapasitas kalor dan konduktifitas termal, juga menyebabkan pergeseran waktu suhu puncak lingkungan iklim mikro, dibandingkan dengan saat puncak terbesar radiasi matahari.
- b) Faktor vegetasi berupa pepohonan berdaun rapat sangat berpotensi mereduksi atau menyaring radiasi matahari dibawahnya, hingga bisa mencapai 80% saat tengah hari, dikarenakan adanya penaungan atau pembayangan yang sangat efektif. Selain itu, pohon berdaun rapat juga dapat mereduksi suhu permukaan material di bawah penaungannya hingga 30%, saat matahari tegak vertikal diatasnya.
- c) Hasil simulasi komputasi, menunjukkan bahwa suhu permukaan bahan bahan perkerasan yakni pavingstone, bata dan tanah keras, saat siang hari dapat mencapai mendekati 50 °C saat tengah hari, cuaca cerah, tegak menghadap langit. Sedangkan suhu air juga berpotensi menjadi pendingin lingkungan, apabila diadakan peradukan antara suhu air di kedalaman lebih dari 20 cm dengan suhu permukaan, sehingga terjadi suhu campuran yang lebih dingin dibandingkan suhu permukaan. Perbandingan antara hasil pengukuran dan simulasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, sehingga dapat dinyatakan valid terhadap proses perhitungan dengan cara simulasi komputasional.

Temuan tersebut memberi masukan yang konstruktif bagi pengembangan desain arsitektur lansekap khususnya di daerah beriklim tropis, dalam rangka memberikan rasa kenyamanan berkegiatan di ruang luar

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE, 2017. *ASHRAE Handbook Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Inc.
- Choi GY, Kim AH, Kim H, Lee JS, 2021, *How do paving and planting strategies affect microclimate conditions and thermal comfort in apartment complexes?* , International Journal of Climate Change Strategies and Management, Vol. 13 No. 2, 2021
- Cui W, Liao Q, Chang G, Chen G, Peng Q and Jen TC. *Measurement and prediction of undisturbed underground temperature distribution*. In: Proceedings of the ASME 2 international mechanical engineering congress & exposition, IMECE2011, Denver, CO, USA, January 1 2011.
- Gaitani N, Spanou A, Saliari M, Synnefa A, Vassilakopoulou K, Papadopoulou K, Pavlou K, Santamouris M, Papaioannou M, Lagoudaki A, 2011, *Improving the microclimate in urban areas: a case study in the centre of Athens*, Building Serv. Eng. Res. Technol. Vol 32, No. 1, 2011.
- Givoni B, 1998, *Climate Considerations in Building and Urban Design*, New York: John Wiley & Sons.
- Iek Y, Sangkertadi, Moniaga I, 2014, *Kepadatan Bangunan dan Karakteristik Iklim Mikro Kecamatan Weang Kota Manado*. Jurnal Sabua Vol,6 No.3.
- Joo-Hwa B and Lay OB. 2006. *Tropical Sustainable Architecture. Social and Environmental Dimensions*. London:Architectural Press
- Karyati, 2019. *Mikroklimatologi Hutan*, Samarinda: Mulawarman University Press.
- Lakitan B, 2002. *Dasar-dasar Klimatologi*, Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Lesi M, 2017. *Iklim Mikro di Sekitar Permukaan Air*. Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Mukhtar A, Yusoff MY, Ching NK, 2017, *An Empirical Estimation of Underground Thermal Performance for Malaysian Climate*, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 949 (2017).
- Noerwasito T V, 2020, *Blok Tanah Liat Untuk Arsitektur*, K-Media, Yogyakarta.
- Sangkertadi, 2013, *Kenyamanan Termal di Ruang Luar Beriklim Tropis Lembab*, Bandung: Alfabeta.
- Sangkertadi & Syafriny R, 2016, *Pair influence of wind speed and mean radiant temperature on outdoor thermal comfort of humid tropical*

- environment*, Journal of Urban and Environmental Engineering, Vol.10 No.2, 2016
- Shahidan F M, Salleh E, Mustafa KMS, 2007. *Effects of tree canopies on solar radiation filtration in a tropical microclimatic environment*. The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Singapore, 22-24 November 2007.
- Szokolay S V. 2010. *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*. Oxford: Architectural Press
- Takebayashi H dan Kyogoku S. 2018. *Thermal Environmental Design in Outdoor Space Focusing on Radiation Environment Influenced by Ground Cover Material and Solar Shading, through the Examination on the Redevelopment Buildings in Front of Central Osaka Station*. Japan. MDPI Sustainability Jurnal, 2018.
- Thani S.K.S.O, dkk. 2013. *Outdoor thermal comfort: the effects of urban landscape morphology on microclimatic conditions in a hot-humid city*". WIT Transactions on Ecology and The Environment, Vol 179, 2013.
- Tukiran J Md, Ariffin J, Abdul Ghani, AN, 2016, Cooling Effects of Two Typess of Tree Canopy Shape in Penang Malaysia, International Journal of GEOMATE, Vol. 11, Issue 24.
- Yang W, Lin Y, Li CQ, 2018. *Effects of Landscape Design on Urban Microclimate and Thermal Comfort in Tropical Climate*. Hindawi Advances in Meteorology Vol.2018, Article ID 2809649.
- Zold, A. and Szokolay S,1997. *Thermal Insulation*. PLEA Note 2. PLEA University of Queensland.