

## PERFORMA MATERIAL DALAM MENYERAP PANAS DI RUSUN POLITEKNIK KELAUTAN DAN PERIKANAN SORONG

Rezza Ruzuqi<sup>1</sup> dan Eko Tavip Maryanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Mekanisasi Perikanan Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, Sorong 98411

E-mail: [rezza.ruzuqi31@gmail.com](mailto:rezza.ruzuqi31@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong, Sorong 98418

Email : [ekotavipm@gmail.com](mailto:ekotavipm@gmail.com)

**Abstrak** Material peredam panas merupakan material alami atau sintetis yang diaplikasikan untuk menahan temperatur tinggi. Di alam, banyak terkandung material peredam panas misalkan tanah, bebatuan mineral, dan lain sebagainya. Raw material tersebut, nantinya akan diolah atau dimanfaatkan langsung untuk diaplikasikan sebagai material peredam panas. Kota sorong merupakan sebuah kota yang memiliki kondisi paling kritis dan telah menjadi tantangan penting bagi banyak kota dalam permasalahan pulau panas perkotaan. Kondisi tersebut memacu timbulnya sebuah fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Dalam upaya untuk mengurangi panas yang ditimbulkan, digunakan berbagai macam material untuk diaplikasikan di beberapa hal. Material tersebut diantaranya Material Beton Cor, Material Aspal, Material Tanah. Dalam penelitian ini, performa material dalam mengurangi panas ditentukan untuk ketiga material tersebut. Alat ukur yang digunakan adalah alat ukur yang umum digunakan untuk mengukur temperatur. Pengukuran dilakukan mulai dari pagi sampai malam. Hasil yang didapatkan bahwa material beton cor memiliki performa lebih baik dibanding dengan material jenis lain jika diaplikasikan sebagai atap dalam mengurangi panas. Sedangkan material aspal merupakan material yang baik jika diaplikasikan sebagai material jalan. Dengan temperatur rata-rata yang dihasilkan masing-masing material pagi =  $32.5^{\circ}C$ , siang =  $60.2^{\circ}C$ , sore =  $34.7^{\circ}C$ , dan malam =  $31.0^{\circ}C$  dan pagi =  $30.0^{\circ}C$ , siang =  $33.4^{\circ}C$ , sore =  $29.4^{\circ}C$ , dan malam =  $28.5^{\circ}C$ .

Kata kunci: Urban Heat Island (UHI), Material Beton Cor, Material Aspal, Material Tanah

**Abstract** Heat-absorbing material is a natural or synthetic material applied to withstand high temperatures. In nature, there are many heat-absorbing materials such as soil, mineral rocks, and others. The raw material is processed or used directly applied as a heat-absorbing material. Sorong city is that city has the most critical condition and has become challenging for many cities in the problem of the urban heat island. This condition spurred the emergence of an Urban Heat Island (UHI) phenomenon. In an attempt at the heat generated, various materials used to apply in several ways. These materials include Cast Concrete Materials, Asphalt Materials, and Soil Materials. In this study, the performance of the materials was determined. The measuring instrument used is a measuring instrument commonly used to measure temperature. Measurements start from morning until night. The results obtained that cast concrete material has better performance than other materials when applied as a roof to reduce heat. While asphalt is a good material when applied as road material. With the average temperature produced by each material, morning =  $32.5^{\circ}C$ , afternoon =  $60.2^{\circ}C$ , evening =  $34.7^{\circ}C$ , and night =  $31.0^{\circ}C$  and morning =  $30.0^{\circ}C$ , afternoon =  $33.4^{\circ}C$ , evening =  $29.4^{\circ}C$ , and night =  $28.5^{\circ}C$ .

Keywords: Urban Heat Island (UHI), Cast Concrete Material, Asphalt Material, Soil Material

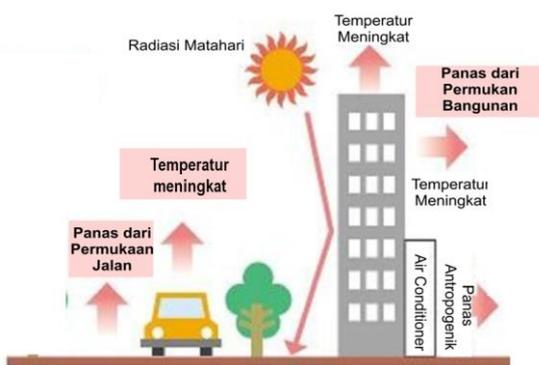
### 1. PENDAHULUAN

Pulau panas perkotaan adalah salah satu masalah lingkungan perkotaan yang paling kritis dan telah menjadi tantangan penting bagi banyak kota. Selama dekade terakhir, ada banyak penelitian tentang pulau panas perkotaan di kota-kota besar di seluruh dunia [1].

Perkembangan kawasan terbangun di Sorong terutama di kawasan kota sangat berpengaruh terhadap suhu udara lokal yang berada di kawasan perkotaan, kawasan perkotaan memiliki suhu udara yang lebih panas dibandingkan dengan suhu udara yang berada di pinggir kota, menyebabkan mulai terlihat terjadi pulau pulau panas perkotaan akibat kurangnya tutupan vegetasi.

Saat ini, di Kota Sorong suhu jauh lebih hangat daripada daerah pinggiran, terutama akibat perluasan kawasan terbangun memperkuat efek ini. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan suhu yang terjadi dalam kurun waktu Tahun 1997-2021 dimana pada tahun 1997 suhu di Kota Sorong masih berkisar 25<sup>o</sup>C-30<sup>o</sup>C, kemudian mengalami peningkatan di Tahun 2006 menjadi 30<sup>o</sup>C-35<sup>o</sup>C dan pada awal tahun 2021 tercatat di beberapa wilayah di Kota Sorong memiliki suhu diatas 35<sup>o</sup>C.

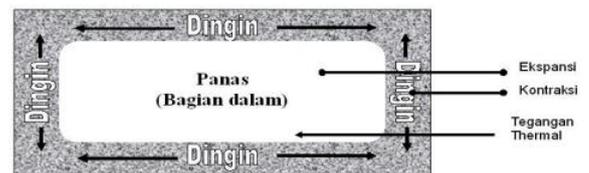
Urban Heat Island (UHI) adalah fenomena iklim mikro yang khas di daerah perkotaan. Suhu udara di perkotaan lebih tinggi dibandingkan daerah pedesaan [2]. Dalam hal ini atap dan permukaan kota (*land surface*) menjadi bagian yang paling banyak meningkatkan temperatur dimana sinar dari matahari yang di terima dengan bahan material yang menyerap panas. Untuk itu dibutuhkan material reflektor terbaik sehingga UHI bisa dikurangi yang nantinya akan di test nilai albedonya. Gambar 1 menunjukkan fenomena peningkatan temperatur sebuah kota dari material yang menyerap panas.



Gambar 1. Fenomena peningkatan temperatur sebuah kota dari material yang menyerap panas

Beton merupakan material penahan panas, sehingga Performa beton dalam menahan panas telah banyak diteliti sejak lama. Penelitian terkait topik tersebut diantaranya pengaruh panas hidrasi beton dengan semen type II [3], dan pengaruh lama waktu pemanasan mortar [4] penambahan akselerator nanokomposit baru [5], kinerja beton geopolimer berbasis terak yang diganti bubuk kaca di bawah suhu tinggi [6], pengaruh suhu ruang penyimpanan pada pengukuran permeabilitas udara dan penyerapan air [7], profil waktu-suhu dengan sifat mekanik dan daya tahan beton massa kinerja tinggi (HPMC) [8], dan ketahanan ledakan komponen beton kinerja ultra tinggi (UHPC) yang diperkuat serat setelah terpapar suhu tinggi [9].

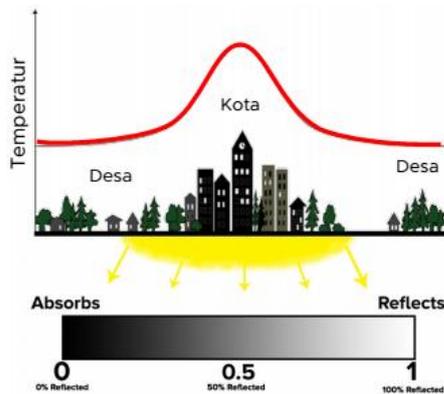
Selanjutnya, di sisi lain beton memiliki sifat “*Poor Thermal Conductivity*” sehingga beton dengan volume yang besar memerlukan waktu yang relatif lebih lama untuk melepaskan panas yang dikandung. Pada proses pelepasan panas, bagian permukaan beton akan lebih mudah melepaskan panas dibandingkan dengan bagian dalam. Hal ini mengakibatkan selalu terjadi perbedaan suhu antara beton bagian dalam dan bagian per mukaan selama proses pelepasan panas berlangsung [3]. Gambar 2 menunjukkan fenomena dari sifat “*Poor Thermal Conductivity*” dari material beton.



Gambar 2. Fenomena sifat “*Poor Thermal Conductivity*”

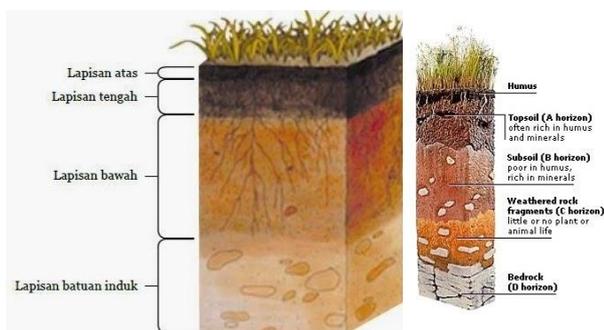
Aspal memiliki sifat viskoelastis aspal akibat perubahan temperatur yang dinyatakan sebagai indeks penetrasi aspal (IP). Dari sifat ini, material aspal memiliki sifat mudah menyerap panas atau albedo. Albedo merupakan sebuah besaran yang menggambarkan perbandingan antara sinar Matahari yang tiba di permukaan bumi dan yang dipantulkan kembali ke angkasa dengan terjadi perubahan panjang gelombang (*outgoing longwave radiation*). Menurut [10], aspal memiliki nilai albedo 0.04 sampai 0.16, sedangkan beton 0.18 sampai 0.35. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa perkerasan dengan albedo yang lebih rendah cenderung menyerap lebih banyak energi matahari, menghasilkan suhu perkerasan yang lebih tinggi. Atau dalam penjelasan lain bahwa dengan tingkat kekerasan atau nilai penetrasi yang sama belum tentu memiliki nilai IP yang sama. Sebaliknya,

aspal dengan nilai IP yang sama belum tentu memiliki tingkat kekerasan yang sama. Pada aspal dengan IP yang sama, semakin tinggi tingkat kekerasan aspal semakin tinggi ketahanan campuran beraspal yang dihasilkannya [11]. Gambar 3 menunjukkan fenomena albedo yang pada aspal. Dalam Gambar 3 tersebut, mengilustrasikan bahwa material aspal adalah material yang banyak digunakan di perkotaan dibandingkan dengan desa.



Gambar 3. Fenomena albedo yang pada aspal

Selain menggunakan material beton cor atau aspal dalam upaya mengurangi panas kota, maka pilihan selanjutnya adalah material tanah. Tanah yang merupakan bagian dari kerak bumi yang mengandung mineral dan bahan organik. Tanah terdiri atas beberapa lapisan, lapisan atas, lapisan tengah, lapisan bawah, dan lapisan batuan induk. Gambar 4 menunjukkan gambar lapisan tanah secara umum.



Gambar 4. Lapisan tanah secara umum

Tanah memiliki beberapa lapisan yang memiliki tingkat kerapatan berbeda-beda. Tingkat kerapatan tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengurangi panas. Untuk mengetahui performa tanah dalam menanggulangi masalah panas, beberapa penelitian dilakukan diantaranya pengukuran temperatur dan kelembapan lapisan tanah [12] dan dilakukan

pemodelan dalam temperatur tanah musiman fluktuasi dan dampaknya terhadap kinerja dangkal penular panas lubang bor [13].

Dari beberapa jenis material penyerap panas yang disuguhkan dalam penelitian ini, maka perlu adanya sebuah tinjauan performa material yang sesuai untuk diaplikasikan pada sekitaran hunian rusun Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong dalam upaya mengurangi panas kota Sorong.

**2. BAHAN DAN METODE**

Penelitian ini dilaksanakan di sekitaran Hunian Rusun Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong pada tanggal 3 Februari 2022. Penelitian ini melibatkan dosen dan mahasiswa Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong. Gambar 5 menunjukkan lokasi penelitian.



Gambar 5. Lokasi penelitian

Prosedur penelitian yang digunakan adalah menentukan objek yang akan diukur. Syarat objek yang akan diukur memiliki perbedaan material penyusun. Material penyusun dimaksud adalah Tanah, Beton Cor, dan Aspal.

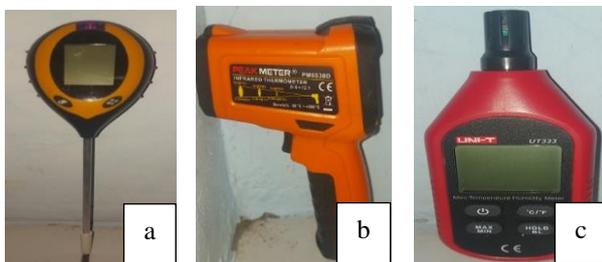


Gambar 6. Objek penelitian: (a) halaman depan rusun (Tanah); (b) pedestrian (Beton Cor); (c) pedestrian (Aspal); (d) ruangan beratap (Beton Cor)

Kemudian untuk objek penelitian diantaranya di halaman depan rusun, Pedestrian, dan Plafon. Gambar 6a, 6b, 6c, dan 6d masing-masing menunjukkan objek pengukuran halaman depan rusun (Tanah), pedestrian (Beton Cor), pedestrian (Aspal), dan ruangan beratap (Beton Cor).

Setelah ditentukan objek pengukuran, selanjutnya menentukan titik ukur. Titik ukur digunakan untuk penanda agar bagian yang akan diukur tidak berbeda-beda. Karena apabila berbeda, maka akan menunjukkan data yang kurang valid.

Selanjutnya, setelah menentukan objek dan titik ukur, dilakukan pengukuran menggunakan alat ukur temperatur. Alat ukur yang digunakan merupakan alat ukur yang umum digunakan untuk mengukur temperatur. Dalam penelitian ini, alat ukur yang digunakan diantaranya adalah untuk pengukuran temperatur tanah menggunakan termometer tanah (*Electronic 4-in-1 soil meter*), untuk mengukur permukaan benda menggunakan thermo gun (*Peak Meter PM6530D*), dan untuk mengukur temperatur ruangan menggunakan termometer ruangan (UNI-T UT333). Gambar 7a, 7b, dan 7c masing-masing menunjukkan termometer tanah (*Electronic 4-in-1 soil meter*), thermo gun (*Peak Meter PM6530D*), dan termometer ruangan (UNI-T UT333) yang digunakan untuk pengambilan data.



Gambar 7. Alat ukur yang digunakan : (a) Termometer tanah (*Electronic 4-in-1 soil meter*); (b) Thermo gun (*Peak Meter PM6530D*); (c) Termometer ruangan (UNI-T UT333)

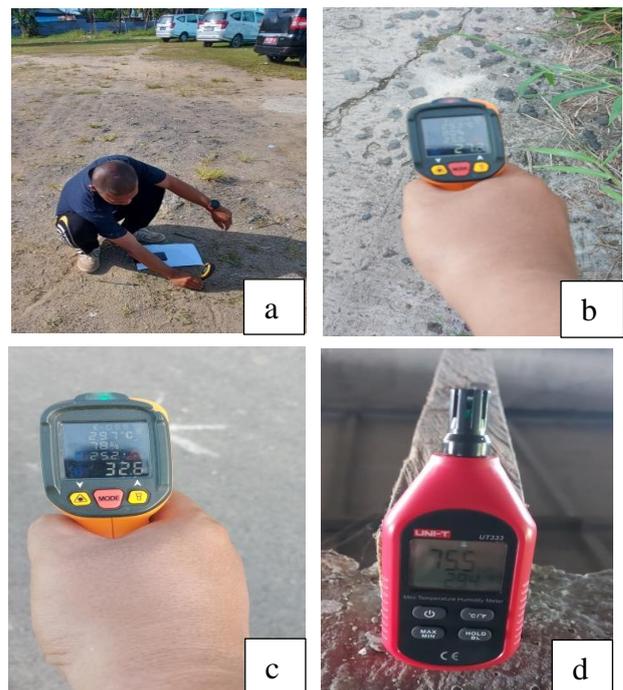
Dalam pelaksanaan penelitian, pengukuran temperatur menggunakan alat ukur yang telah disebutkan di atas. Pengukuran temperatur dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali dan dilakukan mulai dari pagi sampai tengah malam. Hasil pengukuran, selanjutnya dimasukkan sebuah tabel yang selanjutnya dilakukan analisis. Tabel 1 menunjukkan tabel pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Titik pengukuran

Lokasi	Objek	Temperatur (°C)			
		Waktu (WIT)			
		Pagi (08.00-09.00)	Siang (12.00-13.00)	Sore (19.00-20.00)	Malam (00.00-01.00)
Rusun	Halaman depan rusun (Tanah)				
	Pedestrian (Beton Cor)				
	Pedestrian (Aspal)				
	Ruangan beratap (Beton Cor)				

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan mulai dari pagi sampai malam di sekitaran hunian rusun Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong. Gambar 8a, 8b, 8c, dan 8d masing-masing menunjukkan proses pengambilan data untuk objek penelitian halaman depan rusun (Tanah), pedestrian (Beton Cor), pedestrian (Aspal), dan ruangan beratap (Beton Cor).



Gambar 7. Proses pengambilan data dengan objek : (a) halaman depan rusun (Tanah); (b) pedestrian (Beton Cor); (c) pedestrian (Aspal); (d) ruangan beratap (Beton Cor)

Setelah dilakukan pengukuran, terlihat bahwa temperatur mengalami naik turun yang begitu drastis. Hal tersebut ditunjukkan oleh Tabel 2 hasil pengamatan.

Tabel 2. Hasil pengamatan

Lokasi Objek	Temperatur ( $^{\circ}C$ )			
	Waktu (WIT)			
	Pagi (08.00- 09.00)	Siang (12.00- 13.00)	Sore (19.00- 20.00)	Malam (00.00- 01.00)
Rusun Halaman (Tanah)	32.0	36.0	35.0	33.0
	33.0	37.0	36.0	33.0
	32.0	37.0	36.0	33.0
Pedestrian (Cor)	32.1	59.8	35.3	31.2
	32.6	60.9	34.4	31.2
	32.8	60.0	34.4	30.7
Pedestrian (Aspal)	29.4	33.9	29.3	28.5
	30.4	33.9	29.5	28.6
	30.2	32.3	29.5	28.3
Ruangan beratap (Beton Cor)	42.8	60.7	27.5	27.8
	42.0	59.3	27.4	27.3
	44.7	59.6	28.0	28.1

Seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2, terlihat bahwa temperatur yang dihasilkan pada beberapa titik mengalami fluktuasi seiring dengan perubahan waktu pengambilan data. Seperti pada objek halaman (tanah) memiliki nilai rata-rata temperatur pagi =  $32.3^{\circ}C$ , siang =  $36.7^{\circ}C$ , sore =  $35.7^{\circ}C$ , dan malam =  $33.0^{\circ}C$ , Pedestrian (cor) memiliki nilai rata-rata temperatur pagi =  $27.7^{\circ}C$ , siang =  $50.6^{\circ}C$ , sore =  $30.7^{\circ}C$ , dan malam =  $28.1^{\circ}C$ , Pedestrian (aspal) memiliki nilai rata-rata temperatur pagi =  $32.5^{\circ}C$ , siang =  $60.2^{\circ}C$ , sore =  $34.7^{\circ}C$ , dan malam =  $31.0^{\circ}C$ , dan Atap Beton yang memiliki nilai rata-rata temperatur pagi =  $30.0^{\circ}C$ , siang =  $33.4^{\circ}C$ , sore =  $29.4^{\circ}C$ , dan malam =  $28.5^{\circ}C$ .

Ditinjau dari performa material penyusunnya, material beton cor memiliki performa yang baik dalam mengurangi panas kota sorong. Hal tersebut karena dalam beton cor mengandung semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang memenuhi kriteria workabilitas, kekuatan, durabilitas, dan penyelesaian akhir yang sesuai dengan spesifikasi. Sehingga memiliki perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya unik. Perbedaan sifat dan karakteristik tersebut dapat mengurangi temperatur yang dihasilkan.

Kemudian jika dibandingkan dengan permukaan tanah, material beton cor memiliki performa lebih baik. Hasil tersebut terlihat dari hasil pengukuran yang telah dikerjakan. Seperti pada objek halaman (tanah) memiliki nilai rata-rata temperatur pagi =  $32.3^{\circ}C$ , siang =  $36.7^{\circ}C$ , sore =  $35.7^{\circ}C$ , dan malam =  $33.0^{\circ}C$  dan Pedestrian (cor) memiliki nilai rata-rata temperatur pagi =  $27.7^{\circ}C$ , siang =  $50.6^{\circ}C$ , sore =  $30.7^{\circ}C$ , dan malam =  $28.1^{\circ}C$ . Dari hasil yang didapatkan, terlihat bahwa temperatur pedestrian cor memiliki hasil rendah akan tetapi pada siang hari terjadi kenaikan yang ekstrim. Tingginya temperatur tanah tersebut disebabkan

karena permukaan tanah terdapat rongga yang masih bisa dimasuki panas, sehingga panas masih terjebak di dalam. Sedangkan untuk pedestrian (cor), mudah untuk memantulkan panas. Oleh sebab itu, temperatur yang dihasilkan kecil.

Selanjutnya, jika dibandingkan dengan pedestrian (aspal), material beton cor memiliki performa lebih baik. Seperti pada objek pedestrian (aspal) memiliki nilai rata-rata temperatur pagi =  $32.5^{\circ}C$ , siang =  $60.2^{\circ}C$ , sore =  $34.7^{\circ}C$ , dan malam =  $31.0^{\circ}C$  dan Pedestrian (cor) memiliki nilai rata-rata temperatur pagi =  $27.7^{\circ}C$ , siang =  $50.6^{\circ}C$ , sore =  $30.7^{\circ}C$ , dan malam =  $28.1^{\circ}C$ . Dari keseluruhan hasil yang didapat, pedestrian berbahan cor keseluruhan memiliki nilai temperatur rendah. Hal tersebut dapat ditinjau dari sumber bahan tersebut. Aspal dihasilkan dari industri kilang minyak mentah (*crude oil*) melalui proses destilasi. Dari sumber tersebut, jelas bahwa material aspal mudah menyerap panas dan susah untuk mengeluarkannya. Oleh sebab itu, panas yang ada di dalam aspal masih terjebak dalam materialnya. Sehingga jika dilakukan pengukuran, temperatur yang dihasilkan oleh material aspal memiliki temperature tinggi jika dibandingkan dengan material beton cor.

Kemudian jika material beton cor diaplikasikan sebagai atap, performa material tersebut juga masih baik jika dibanding dengan material lain. Hal tersebut terbukti dari hasil pengukuran yang dilakukan. Terlihat bahwa nilai rata-rata temperatur pagi =  $30.0^{\circ}C$ , siang =  $33.4^{\circ}C$ , sore =  $29.4^{\circ}C$ , dan malam =  $28.5^{\circ}C$ . Dari hasil tersebut, terdapat temperatur yang tinggi jika dibanding dengan material lain yakni pada pagi dan siang hari. Hal tersebut karena pada atap beton, apabila ada panas yang terjebak di dalam maka susah untuk keluar. Oleh sebab itu, panas yang dihasilkan oleh atap beton lebih lama jika dibanding dengan material lain.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan, terlihat bahwa material beton cor memiliki performa lebih baik dibanding dengan material jenis lain jika diaplikasikan sebagai atap dalam mengurangi panas. Sedangkan material aspal merupakan material yang baik jika diaplikasikan sebagai material jalan. Dengan temperatur rata-rata yang dihasilkan masing-masing material pagi =  $32.5^{\circ}C$ , siang =  $60.2^{\circ}C$ , sore =  $34.7^{\circ}C$ , dan malam =  $31.0^{\circ}C$  dan pagi =  $30.0^{\circ}C$ , siang =  $33.4^{\circ}C$ , sore =  $29.4^{\circ}C$ , dan malam =  $28.5^{\circ}C$ .

Dari hasil yang ditunjukkan memang menghasilkan performa baik dalam mengurangi

panas, tetapi terdapat kekurangan yang perlu diperhatikan. Material beton cor memiliki kekuatan tarik yang rendah, keuletan yang rendah dan beberapa penyusutan. Oleh sebab itu, ada beberapa aplikasi sipil yang kurang efisien jika menggunakan material beton cor.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pengelola rusun Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, karena telah memberikan izin untuk dapat melakukan penelitian di area sekitar. Selanjutnya, penulis sampaikan terima kasih kepada dua orang Taruna atas nama Amirullah dan Muh.Krisna, karena berkat bantuan mereka kegiatan ini dapat berjalan sesuai yang diinginkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khamchiangta, D. and Dhakal, S., *Time series analysis of land use and land cover changes related to urban heat island intensity: Case of Bangkok Metropolitan Area in Thailand*, Journal of Urban Management 9, 383-395, 2020.
- [2] Landsberg, H.E., *The Urban Climate*. The Academic Press, London, New York, P196, 1981.
- [3] Rochaeti, E. Jul, D. Lilian, W. Dessi, and Moeljono. *PENGARUH PANAS HIDRASI BETON DENGAN SEMEN TYPE II TERHADAP KETEBALAN ELEMEN BETON*. Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan 2, 183-194, 2014.
- [4] K. Widodo. (2002). *PENGARUH LAMA WAKTU PEMANASAN MORTAR TERHADAP PRODUKSI KAPUR BEBAS*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan 2002.
- [5] Z. Lifeng, M. Rui, L. Junying, R. Shaoqin, Q. Xiaoqian, Y. Dongming, Q. Kuangliang, and W. Su., *Performance buildup of concrete cured under low-temperatures: Use of a new nanocomposite accelerator and its application*. Construction and Building Materials 335, 127529, 2022.
- [6] El-Mir. Abdulkader, J. Assaad J, and G. Nehme S., *Correlating strength and durability to time-temperature profiles of high-performance mass concrete*. Case Studies in Construction Materials 16, e01055, 2022.
- [7] Nguyen, M.H., Nishio, S., and Nakarai, K., *Effect of temperature on nondestructive measurements for air permeability and water sorptivity of cover concrete*. Construction and Building Materials 334, 127361, 2022.
- [8] Nida, A.D., Burhan M.K., and Ozcan A. *Performance of glass powder substituted slag based geopolymer concretes under high temperature*. Construction and Building Materials 331, 127318, 2022.
- [9] Xu. Zhenhuan, L. Jun, Q. Haimin, and W. Chengqing., *Blast resistance of hybrid steel and polypropylene fibre reinforced ultra-high performance concrete after exposure to elevated temperatures*. Composite Structures 294, 115771, 2022.
- [10] Pomerantz M, H. Akbari, S-C. Chang, R. Levinson, and B.Pon. (2003). “Examples of Cooler Reflective Streets for Urban Heat-Island Mitigation: Portland Cement Concrete and Chip Seals.” Report No. LBNL-49283, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.
- [11] Brennen. M, Tia, M, Altschaeffl. A.G., and Wood. L.E. (1999), Laboratory Investigation Of The Use Of Foamed Asphalt For Recycled Bituminous Pavements, Transportation Research Record 911, Washington, DC, TRB pp, 80-87.
- [12] Shi. W, Zhang. S, Wang. M., and Zheng. W., *Design and performance analysis of soil temperature and humidity sensor*. IFAC PapersOnLine, 51, 586-590, 2018.
- [13] Edhy. S.S., Hu. E., Kotousov. A., Riayatsyah. T.M.I., Khairil, and Hamdani., *A new approach to modelling of seasonal soil temperature fluctuations and their impact on the performance of a shallow borehole heat exchanger*. Case Studies in Thermal Engineering 22, 100781, 2020.