

INVESTIGASI SIFAT TERMAL PERMUKAAN PERKERASAN JALAN

Muhammad Ihsan^{1*}, Berlian Khushari^{1*}, Latif Budi Suparma¹, Kunnawee Kanitpong²

¹Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik Baramuli Pinrang, Indonesia

¹Departemen Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

²Transportation Engineering, Asian Institute of Technology, Pathumthani, Thailand

^{1*}m.ihsan@stt-baramuli.ac.id

Abstrak: Setiap permukaan perkerasan memiliki sifat yang berbeda-beda yang berpengaruh terhadap lingkungan sekitarnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami sifat termal dari permukaan perkerasan, seperti profil albedo dan temperatur serta memberikan pertimbangan dalam mengembangkan perkerasan sejuk. Empat jenis permukaan perkerasan yang digunakan, aspal hot mix baru, aspal hot mix lama, chip seal dan permukaan perkerasan beton semen portland. Nilai albedo diselidiki dengan menghitung rasio radiasi yang datang dan yang dipantulkan. Profil suhu diselidiki dengan perekaman menerus menggunakan thermocouple. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan negatif antara albedo dengan temperatur dimana semakin tinggi albedo maka semakin rendah temperatur permukaan perkerasan.

Kata kunci: perkerasan sejuk, albedo, suhu perkerasan, aspal, beton, chipseal

I. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu jenis lingkungan binaan yang paling dominan, infrastruktur perkerasan jalan bukanlah tanpa dampak terhadap lingkungan. Dalam beberapa dekade terakhir, perkerasan jalan mulai dikaitkan dengan perubahan lingkungan seperti fenomena pulau panas perkotaan atau urban heat island, berupa peningkatan suhu sekitar lingkungan perkotaan [1] [2]. Mengingat area yang tertutup perkerasan jalan di wilayah perkotaan umumnya cukup luas, masuk akal untuk mengasumsikan bahwa perkerasan dapat berkontribusi terhadap masalah pulau panas perkotaan [3]. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui kontribusi infrastruktur perkerasan jalan terhadap suhu lingkungan sekitar yang berkaitan dengan urban heat island, antara lain telah dilakukan oleh beberapa peneliti [4], [5], [6], [7]. Pengembangan perkerasan sejuk atau cool pavement selanjutnya dianggap sebagai salah satu solusi mitigasi urban heat island, yang diharapkan dapat dicapai dengan bahan perkerasan dan desain teknik yang ada dengan mengurangi penyerapan, retensi dan pancaran panas matahari dengan meningkatkan reflektansi matahari permukaan perkerasan dan dengan meningkatkan filtrasi dan penguapan [6], [8], [9]. Dua di antara opsi yang potensial dalam mengembangkan perkerasan sejuk, adalah dengan meningkatkan albedo dan menerapkan beton berpori [10] [11].

Penelitian untuk mengukur pengaruh albedo pada suhu perkerasan yang dilakukan oleh pihak Laboratorium Nasional Lawrence Berkeley menunjukkan bahwa modifikasi berupa peningkatan albedo 0,25 dapat memberi penurunan suhu permukaan perkerasan hingga 10°K. Jika permukaan perkotaan berwarna lebih terang, lebih banyak cahaya yang masuk dapat dipantulkan kembali ke ruang angkasa dan permukaan serta udara akan lebih dingin. Proses ini dapat mengurangi kebutuhan akan pendingin ruangan yang boros energi [5].

Temperatur perkerasan adalah produk dari kombinasi beberapa sifat eksternal dan internal. Sifat eksternal meliputi radiasi matahari, kecepatan angin dan kondisi geografis lokasi dimana perkerasan dibangun. Sifat internal meliputi densitas dan panas spesifik bahan perkerasan. Tujuan Penelitian adalah untuk memahami karakteristik termal, yakni albedo dan fluktuasi suhu dari beberapa jenis permukaan perkerasan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian lebih lanjut dalam mengembangkan perkerasan sejuk sebagai bagian dari upaya mengurangi efek pulau panas perkotaan

II. METODOLOGI

Proses pembuatan sampel perkerasan aspal dapat dibagi menjadi dua tahap yakni proses di fasilitas pencampuran aspal dan proses di laboratorium. Pencampuran lapis aspal dilakukan di fasilitas pencampuran aspal. Aspal yang digunakan adalah aspal 60/70. Gradasi Hot Mix Asphalt adalah gradasi padat. Campuran lepas lapis aspal kemudian dipanaskan di laboratorium menggunakan oven. Pada suhu 150 C, campuran dikeluarkan dari oven dan segera dipadatkan menggunakan mesin tamper [12].

Permukaan lapis aspal baru diproduksi dengan melapisi spesimen yang dipadatkan dengan lapis aspal dan diselesaikan dengan halus dengan pemadatan yang halus. Permukaan lapis aspal lama adalah permukaan yang dihasilkan dari pemadatan benda uji. Efek gesekan pematat memberikan tekstur perkerasan tua. Permukaan yang dihasilkan memberikan simulasi permukaan aspal tua. Permukaan chip seal diproduksi dengan menambahkan lapisan chip seal yang dibatasi oleh emulsi aspal dan ditutupi oleh lapisan agregat chip seal.

Prosedur pengukuran Albedo

Pengukuran dilakukan dalam mengukur energi yang masuk dan energi yang dipantulkan dalam bentuk radiasi. Albedo meter didasarkan pada sepasang sensor thermopile, salah satunya mengukur insiden atau radiasi ke bawah di tanah, dalam hal ini di trotoar dan yang lainnya mengukur radiasi yang dipantulkan atau ke atas. Setiap thermopile bekerja sebagai piranometer independen. Peralatan termofil memiliki permukaan sensitif yang dilapisi dengan warna hitam matte yang memungkinkan piranometer tidak selektif pada panjang gelombang yang berbeda. Rentang spektral pryanometer ditentukan oleh transmitansi kubah kaca dengan tipe K5.

Albedo meter terletak sekitar 15 cm di atas permukaan perkerasan. Namun, dengan penanganan manual albedometer, akan ada kemungkinan pembacaan radiasi yang tidak akurat. Radiasi yang masuk dan yang dipantulkan diukur oleh albedometer setiap 1 menit dengan satuan watt/m². Durasi pengukuran untuk setiap jenis permukaan adalah 10 menit. Hasilnya adalah rasio radiasi yang dipantulkan dengan radiasi yang masuk.

Prosedur pengukuran Suhu Perkerasan

Suhu perkerasan terus diukur dengan termokopel digital. Kabel tipe K berperekat dipasang ke permukaan perkerasan dan terhubung ke perekam suhu termokopel digital. Perekam terhubung ke komputer melalui antarmuka pencatat data USB. Pencatatan suhu masing-masing jenis permukaan perkerasan (permukaan lapis aspal beton lama, permukaan lapis aspal beton baru, permukaan Chip seal, dan permukaan Beton Semen Portland) dilakukan dilakukan secara simultan dan terus menerus untuk keempat jenis perkerasan tersebut menggunakan Perekam Suhu Termokopel OCM-CP-OCTTEMP 8 saluran yang diproduksi oleh Omega Engineering Inc. Permulaan pencatatan suhu diatur oleh software komputer Omega. Setelah memulai perekaman, komputer dapat diputuskan dari perekam setelah aktivasi perangkat lunak.



Gambar 1. Proses pengukuran albedo permukaan perkerasan aspal

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran albedo dilakukan pada waktu di mana suhu maksimum kemungkinan akan terjadi, karena suhu tinggi adalah suhu yang sangat terkait dengan masalah panas perkotaan sehingga hubungan nilai albedo permukaan perkerasan dan suhu dapat dijelaskan. Rangkuman pengukuran albedo jenis perkerasan disajikan pada tabel 1.

Tabel. 1. Nilai albedo untuk beberapa jenis permukaan perkerasan

Jenis permukaan	Albedo
Aspal beton (baru)	0.040
Aspal beton (aus)	0.075
Chip Seal	0.081
Beton semen	0.264

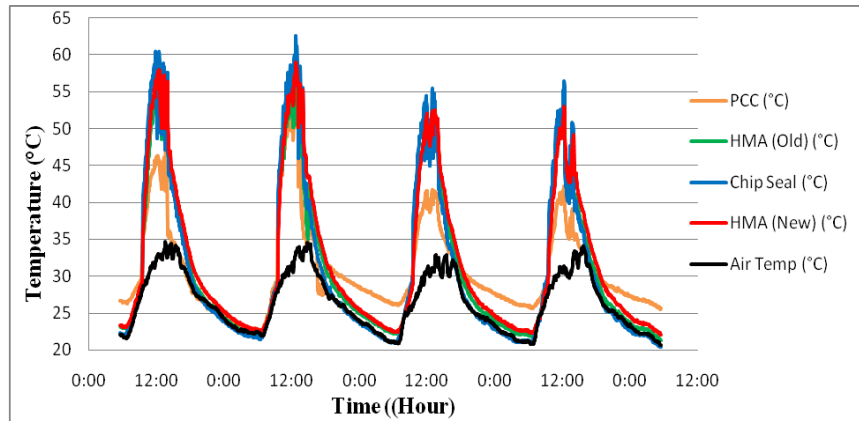
Dari tabel 1. terlihat bahwa albedo terendah adalah laston baru dengan nilai 0,040 dan albedo tertinggi adalah permukaan beton semen Portland dengan nilai 0,264. Diantaranya terdapat lapis aspal lama dengan nilai 0,075 dan permukaan chip seal dengan nilai albedo 0,081.

Temperatur tiap jenis permukaan perkerasan

Gambar 2 menunjukkan profil suhu 4 hari dari empat jenis permukaan dengan perbandingan suhu udara dalam derajat C. Data suhu udara diperoleh dari data meteorologi. Tidak ada curah hujan yang terjadi selama proses pengukuran, namun terjadi pembentukan awan ada selama hari ke-3 dan hari ke-4 penelitian.

Dari grafik terlihat bahwa besaran temperatur permukaan perkerasan yang paling rendah terdapat pada permukaan PCC. Tiga perkerasan berbasis aspal lainnya menunjukkan besarnya suhu yang lebih tinggi. Dibandingkan dengan suhu udara, suhu permukaan perkerasan cukup tinggi. Kisaran suhu permukaan PCC adalah 33,85°C. Kisaran fluktuasi suhu permukaan perkerasan yang lebih rendah kedua adalah aspal beton baru sebesar 36,94°C. Aspal beton aus memiliki kisaran fluktuasi suhu kedua yang lebih tinggi yaitu 37,18°C. Kisaran tertinggi adalah permukaan chip seal dengan kisaran 42,16°C, sedangkan kisaran suhu udara adalah 26,45°C. Suhu minimum aspal beton baru, aspal beton aus, chip seal dan PCC masing-masing adalah 22,07°C, 21,34°C, 20,39°C dan 22,08°C, sedangkan suhu maksimum aspal beton baru, aspal beton lama, chip seal dan PCC adalah 59,01°C, 58,52°C, 62,55°C, dan 55,93°C

masing-masing. Suhu udara minimum dan maksimum di daerah penelitian selama periode perekaman adalah 20,60°C, dan 34,64°C.

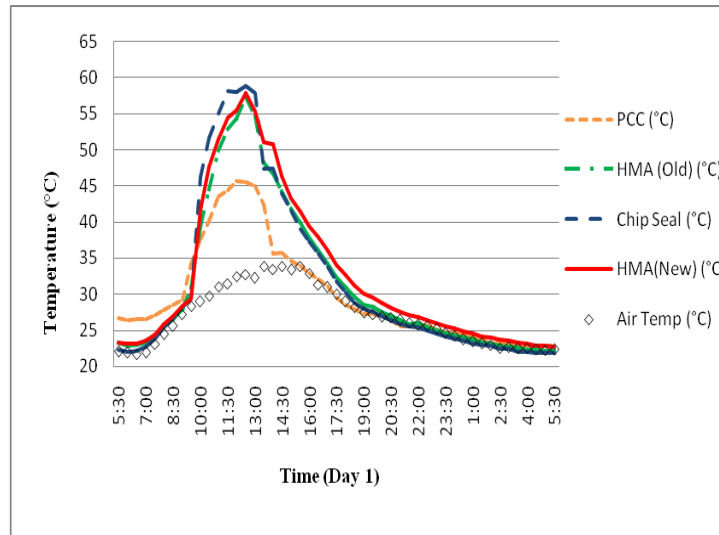


Gambar 2 Profil suhu ke-empat jenis permukaan permukaan (4 hari)

Tabel 2. Statistik deskriptif suhu (dalam °C) pada ke-empat permukaan perkerasan

Deskripsi	Aspal beton (baru)	Aspal beton (aus)	Chip seal	PCC
Mean	31.93	31.04	30.82	30.79
Standard Error	0.30	0.29	0.32	0.19
Median	27.43	26.61	25.81	28.53
Mode	22.67	22.11	21.91	26.00
Standard Deviation	10.05	9.75	10.92	6.34
Sample Variance	100.93	95.13	119.30	40.15
Range	36.94	37.18	42.16	33.85
Minimum	22.07	21.34	20.39	22.08
Maximum	59.01	58.52	62.55	55.93
Minimum (Average)	22.40	21.80	21.00	24.01
Maximum (Average)	55.60	55.45	58.68	47.63

Tabel 2 menyajikan statistik deskriptif suhu permukaan perkerasan. Tabel tersebut menunjukkan bahwa suhu rata-rata aspal beton baru, aspal beton lama, chip seal dan PCC masing-masing adalah 31,93°C, 31,04°C, 30,82°C dan 30,79°C. Rata-rata suhu minimum aspal beton baru, aspal beton lama, chip seal dan PCC masing-masing adalah 22,40°C, 21,80°C, 21,00°C, dan 24,01°C. Suhu maksimum rata-rata permukaan aspal beton baru, aspal beton lama, chip seal, dan PCC masing-masing adalah 55,60°C, 55,45°C, 58,68°C, dan 47,63°C. Rata-rata suhu udara maksimum dan minimum rata-rata di daerah penelitian selama periode perekaman adalah 21,01°C dan 34,02°C. Gambar 3 memberi ilustrasi lebih rinci mengenai fluktuasi suhu keempat jenis permukaan perkerasan.



Gambar 3 fluktuasi suhu keempat jenis permukaan perkerasan selama 24 jam.

Pada Gambar 3, profil suhu keempat jenis permukaan perkerasan disajikan bersama dengan profil suhu udara pada periode satu hari (24 jam) pertama. Untuk mendapatkan kurva profil suhu yang lebih halus, data suhu dikurangi menjadi pembacaan setiap 30 menit berbeda dari kurva sebelumnya yang terdiri dari data pembacaan lima menit. Pada grafik terlihat bahwa kurva dari profil temperatur masing-masing perkerasan berpotongan. Hal ini disebabkan perbedaan besaran suhu. Ini mungkin terkait dengan kapasitas panas volumetrik. Pada Gambar juga terlihat bahwa pada suhu siang hari, profil suhu PCC paling rendah, sedangkan pada malam hari (suhu udara rendah) suhu PCC cukup tinggi dibandingkan jenis permukaan perkerasan lainnya. Awal kenaikan suhu pada semua jenis permukaan dimulai antara pukul 08.30 hingga 10.00. Sementara suhu udara terus meningkat, suhu semua jenis permukaan yang dibangun segera meningkat dalam urutan yang jauh lebih tinggi. Dari grafik terlihat indikasi bahwa suhu keempat permukaan tiba-tiba turun sekitar pukul 13.00, yang mungkin karena bayangan bangunan di sekitar lokasi penelitian. Pada malam hari, suhu semua permukaan hampir sama dengan suhu udara.

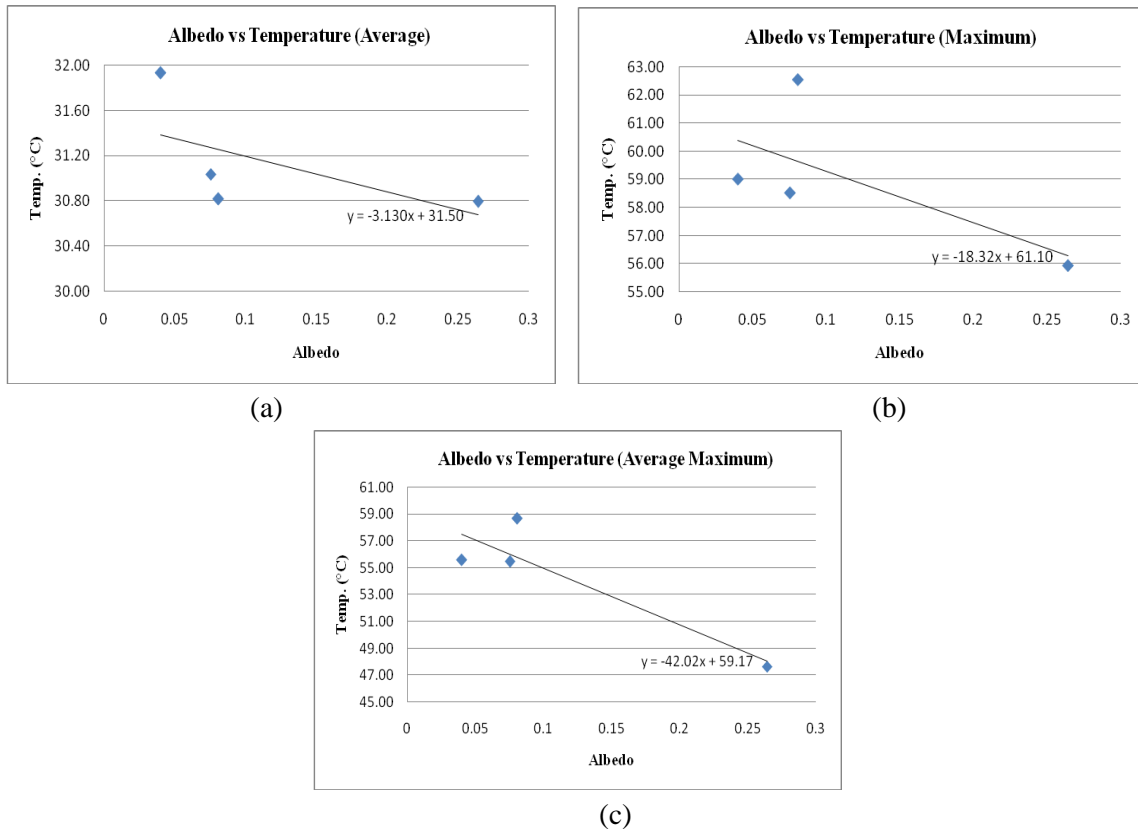
Hubungan Albedo dan Suhu

Dari dua sifat, albedo dan suhu, beberapa hubungan dapat diatur dari data yang tersedia. Dalam hal ini, hubungan yang akan ditentukan adalah antara albedo dan suhu rata-rata, albedo, dan suhu maksimum, serta hubungan albedo dan suhu maksimum rata-rata, yang ditunjukkan dalam Gambar 4 di mana setiap jenis permukaan perkerasan diwakili oleh nilai albedo.

Hubungan nilai albedo dan suhu rata-rata ditunjukkan pada Gambar 4a. Garis tren pada grafik menunjukkan hubungan linier negatif antara albedo dan suhu perkerasan rata-rata. Semakin tinggi albedo semakin rendah suhu rata-rata perkerasan. Penurunan suhu rata-rata mengenai albedo dinyatakan dalam $y = -3,130x + 31,50$. Namun, peningkatan albedo PCC yang signifikan ($\hat{\alpha} = 0,264$) memberikan penurunan suhu yang sangat kecil.

Gambar 4b menunjukkan hubungan nilai albedo dan suhu maksimum permukaan perkerasan. Kecenderungan hubungannya adalah negatif, dimana peningkatan albedo memberikan penurunan suhu. Indikasi penting mungkin berbeda pada segel chip (albedo, $\hat{\alpha} = 0,81$). Dengan albedo yang lebih tinggi dari aspal beton, suhu maksimum perkerasan jenis ini lebih tinggi dari suhu maksimum aspal beton (baru dan lama). Hal ini menunjukkan bahwa chip seal sangat berpengaruh terhadap kenaikan suhu

seperti yang ditunjukkan sebelumnya pada profil suhu. Ini mungkin karena sifat lain seperti kapasitas panas penyimpanan, panas spesifik agregat batu kapur di chip seal daripada albedo. Penurunan suhu maksimum mengenai albedo dinyatakan dalam $y = -18,32x + 61,10$.



Gambar 4 Hubungan antara (a) albedo dan temperatur rata-rata, (b) albedo dan temperatur maximum (c) albedo dan temperatur maximum rata-rata

Gambar 4c menunjukkan hubungan nilai albedo dan suhu maksimum rata-rata permukaan perkerasan. Serupa dengan hubungan nilai albedo dan suhu maksimum, tren hubungannya juga negatif, di mana peningkatan albedo memberikan penurunan suhu. Indikasi serupa juga terlihat pada chip seal (albedo, $\hat{\alpha} = 0,81$), bahwa dengan meningkatnya albedo suhu maksimum rata-rata meningkat. Situasi pada suhu tinggi ini mungkin memiliki alasan yang sama dengan fenomena yang terjadi pada suhu maksimum. Penurunan suhu maksimum rata-rata mengenai albedo dinyatakan dalam $y = -42,02x + 59,17$.

Dari ketiga grafik tersebut, hubungan albedo dan temperatur berada pada hubungan linier negatif. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu rata-rata, suhu maksimum dan suhu maksimum rata-rata, suhu menurun dengan meningkatnya albedo. Tren menunjukkan bahwa dengan peningkatan albedo, suhu permukaan perkerasan dapat diturunkan. Dari grafik, secara intuitif dapat disimpulkan bahwa perubahan albedo dapat dicapai dengan mengubah warna perkerasan. Perubahan warna perkerasan dapat dilakukan dengan aplikasi surface dressing atau dengan cara mencerahkan permukaan. Salah satu jenis surface dressing yang digunakan dalam penelitian ini adalah aplikasi chip seal. Untuk pencerahan permukaan, beberapa aplikasi dapat dilakukan antara lain aplikasi beton putih atau topping putih, aplikasi pigmen warna terang dan pengecatan.

Kemungkinan metode peningkatan albedo harus dipilih dengan pertimbangan lain seperti pertimbangan lingkungan, aspek ekonomis dan kepraktisan dalam produksi dan konstruksi. Namun, berdasarkan nilai albedo permukaan perkerasan, permukaan semen beton Portland dan chip seal adalah pilihan yang baik untuk memberikan penurunan suhu maksimum perkerasan. Namun, dengan volume lalu lintas yang terus meningkat di banyak daerah, penerapan chip seal akan memberikan masalah karena chip seal terutama dirancang untuk volume jalan yang rendah. Pertimbangan lainnya adalah dengan perluasan konstruksi perkerasan beton, maka pelapisan dengan beton semen akan lebih layak dibandingkan dengan aplikasi chip seal.

IV. KESIMPULAN

Masing-masing jenis permukaan perkerasan memiliki sifat termal permukaan yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa albedo pada lapis aspal beton baru, lapis aspal beton lama, chipseal dan PCC berturut-turut adalah 0,04, 0,075, 0,081 dan 0,264. Suhu rata-rata lapis aspal beton baru, lapis aspal beton lama, chip seal dan PCC masing-masing adalah 31,93°C, 31,04°C, 30,82 C dan 30,79 C. Terdapat hubungan negatif antara nilai albedo dengan temperatur di mana semakin tinggi albedo maka semakin rendah temperatur permukaan perkerasan. Permukaan perkerasan yang lebih ringan dapat memberikan albedo yang lebih tinggi sehingga dapat menurunkan suhu rata-rata perkerasan. Perkerasan beton semen portland dapat menjadi kandidat yang baik sebagai jenis permukaan perkerasan yang dapat memberikan kontribusi pengurangan suhu untuk mengelola masalah pulau panas perkotaan.

REFERENSI

- [1] P. Osmond and E. Sharifi, "Guide to urban cooling strategies," Aug. 2017, Accessed: Nov. 13, 2021. [Online]. Available: <https://apo.org.au/node/101751>
- [2] R. Maru *et al.*, "Analysis of The Heat Island Phenomenon in Makassar, South Sulawesi, Indonesia," *American Journal of Applied Sciences*, vol. 12, no. 9, pp. 616–626, Sep. 2015, doi: 10.3844/ajassp.2015.616.626.
- [3] P. Coseo and L. Larsen, "Cooling the Heat Island in Compact Urban Environments: The Effectiveness of Chicago's Green Alley Program," *Procedia Engineering*, vol. 118, pp. 691–710, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.504.
- [4] K. E. Kaloush, J. D. Carlson, J. S. Golden, and P. E. Phelan, "The Thermal and Radiative Characteristics of Concrete Pavements in Mitigating Urban Heat Island Effects," *National Center of Excellence on Sustainable Material and Renewable Technology (SMART) Innovations, Arizona State University, Tempe, Arizona, USA*, Art. no. PCA R&D SN2969, Mar. 2008, Accessed: Dec. 14, 2021. [Online]. Available: <https://trid.trb.org/view/876559>
- [5] H. Akbari, "Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation," *Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL Paper LBNL-58285*, 2001.
- [6] N. Tran, B. Powell, H. Marks, R. West, and A. Kvasnak, "Strategies for Design and Construction of High-Reflectance Asphalt Pavements," 2009.
- [7] B. Kushari and K. Kanitpong, "Surface Albedo of Bangkok Roads," *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, p. 6, 2011.
- [8] Y. Qin, "A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect," 2015, doi: 10.1016/J.RSER.2015.07.177.
- [9] S. Wang, "Pavement albedo assessment: methods, aspects, and implication," Master of Science, Iowa State University, Digital Repository, Ames, 2015. doi: 10.31274/etd-180810-4502.
- [10] L. Haselbach, M. Boyer, J. T. Keavern, and V. R. Schaefer, "Cyclic Heat Island Impacts on Traditional versus Pervious Concrete Pavement Systems," *Transportation Research Record*, vol. 2240, no. 1, pp. 107–115, Jan. 2011, doi: 10.3141/2240-14.

- [11] N. R. Buyung and A. N. A. Ghani, "Permeable pavements and its contribution to cooling effect of surrounding temperature," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1892, no. 1, p. 170003, Oct. 2017, doi: 10.1063/1.5005783.
- [12] M. Ihsan, "Albedo and temperature measurements of selected pavement surfaces," Universitas Gadjah Mada, 2010. Accessed: Nov. 13, 2021. [Online]. Available: <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/45942>