

Pengaruh *Skid Resistance Agent*: Pasir Silika dan Keramik terhadap *Friction* pada *Heat Reflective Coating* jalan

Rahmat Ihsanul Karim¹, Suryo Hapsoro Tri Utomo^{1*}, Taqia Rahman¹

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

*Corresponding author: suryohapsoro@ugm.ac.id

INTISARI

Penerapan *reflective pavements* dapat mengurangi penyerapan radiasi matahari yang secara signifikan meningkatkan performa termal perkerasan jalan, namun umumnya memiliki nilai kekesatan rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *skid resistance agent* berupa pasir silika dan keramik terhadap kekesatan dan performa termal lapisan HRC. Pengujian performa termal menggunakan alat *heating box* dan nilai kekesatan menggunakan alat *British Pendulum Tester*. Pengujian dilakukan pada berbagai variasi HRC dengan bahan dasar epoksi, akrilik dan cat komersil dengan dan tanpa penambahan *skid resistance agent* berukuran 0,6 mm hingga 1,18 mm. Variasi pengujian terpilih berupa benda uji kontrol, epoksi, epoksi silika, epoksi keramik, becool, becool silika, becool keramik, akrilik, akrilik silika dan akrilik keramik. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai suhu puncak dan nilai kekesatan pada benda uji kontrol 81,90°C dengan nilai BPN 76,73. Benda uji epoksi 62,68°C dengan nilai BPN 33,8. Benda uji epoksi silika 59,64°C dengan nilai BPN 45,1. Benda uji epoksi keramik 56,70°C dengan nilai BPN 56,5. Benda uji becool 77,10°C dengan nilai BPN 42. Benda uji becool silika 76,90°C dengan nilai BPN 56,6. Benda uji becool keramik 71,76°C dengan nilai BPN 57,9. Benda uji akrilik 62,88°C dengan nilai BPN 66,7. Benda uji akrilik silika 60,66°C dengan nilai BPN 77,6. Benda uji akrilik keramik 61,13°C dengan nilai BPN 78. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *skid resistance agent* berupa pasir silika dan keramik mampu meningkatkan nilai kekesatan secara signifikan serta ikut berperan pada peningkatan performa termal lapisan *Heat Reflective Coating*.

Kata kunci: *Skid Resistance*, Silika, Keramik, *Heat Reflective Coating*.

1 PENDAHULUAN

Permukaan jalan menyerap sejumlah besar radiasi matahari, yang menyebabkan peningkatan suhu di kawasan perkotaan (Cao et al., 2015). Fenomena ini menjadi tantangan besar bagi para peneliti untuk mencari solusi dalam mengurangi dampak *Urban Heat Island* yang disebabkan oleh perkerasan. Salah satu pendekatan untuk mengurangi dampak tersebut dengan memanfaatkan metode *cool pavement*.

Penelitian yang dilakukan oleh Rahman et al., (2023) menyebutkan bahwa penelitian *Cool pavement* mengarah pada dua tema utama, yaitu *reflective pavements* dan *evaporative pavements*. *Reflective pavements* dirancang untuk memantulkan lebih banyak radiasi matahari kembali ke atmosfer, mengurangi jumlah panas yang terserap oleh permukaan perkerasan, sementara *evaporative pavements* dirancang untuk menyerap air dan menguapkannya dapat menurunkan suhu melalui proses pendinginan evaporatif. Penggunaan lapis permukaan perkerasan yang memiliki reflektansi tinggi dapat mengurangi penyerapan radiasi matahari yang secara signifikan meningkatkan performa termal sehingga mengurangi suhu pada lingkungan perkotaan. (Santamouris, 2013).

Lapisan *heat reflective coating* akan mengubah tekstur permukaan perkerasan jalan. Penambahan partikel anti selip dapat memperbaiki tekstur permukaan yang dapat berpengaruh pada kinerja *skid resistance* yang lebih optimal pada perkerasan jalan. Penurunan nilai BPN memerlukan modifikasi dengan penambahan *skid resistance agent* yang memperbaiki kekesatan dari perkerasan yang dilapisi HRC. Partikel anti selip tersebut merupakan material *inorganic* yang bersifat keras karena berfungsi dengan baik pada keadaan basah maupun kering (Zheng et al., 2015).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh dari penambahan *skid resistance agent* berupa pasir silika dan keramik pada lapisan *Heat Reflective Coating* yang diharapkan dapat meningkatkan performa kekesatan serta pengaruhnya pada performa termal permukaan jalan yang dilapisi HRC. Manfaat dari penelitian berfokus pada identifikasi teknologi *reflective pavement* yang berkeselamatan pada penerapannya di lapangan.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan material yang digunakan pada penelitian ini berupa:

1. Aspal konvensional yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal pen 60/70 dari PT Buntara Megah Inti.
2. Jenis agregat yang digunakan adalah batuan andesit yang didapatkan dari PT Surya Karya Setya Budi.
3. Penelitian ini menggunakan material pasir silika dan keramik sebagai bahan tambah campuran *Heat Reflective Coating*.

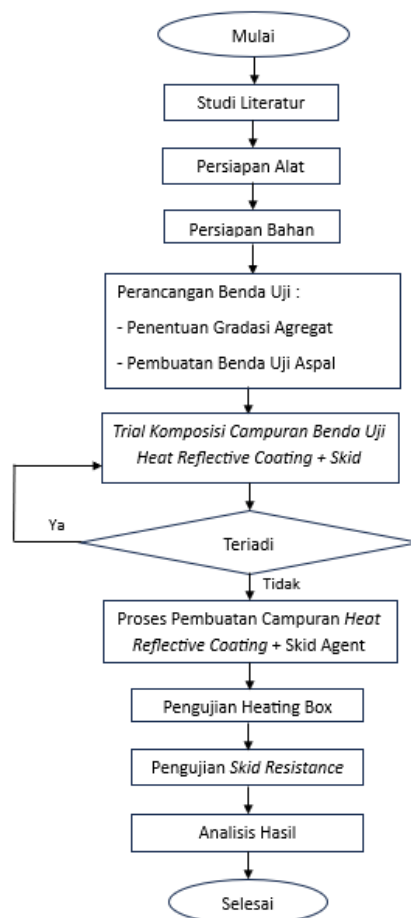
2.2 Alat Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan beberapa alat pada laboratorium berupa :

1. *Heating Box*, yang digunakan untuk melakukan pengujian performa thermal dengan kapasitas 1000 Watt/m² dengan rentang waktu 24 jam sebagai representasi dari sinar matahari yang diterima oleh benda uji.
2. *Thermocouple*, digunakan untuk mendeteksi perubahan suhu, diletakkan pada kedalaman 20mm benda uji.
3. *Temperature recorder*, digunakan untuk mencatat perubahan suhu yang terjadi selama kondisi *heating* dan *cooling* yang diterima oleh benda uji dicatat setiap 5 menit kemudian dikonversi menjadi rerata per jam.
4. *High Shear Mixer*, digunakan untuk mencampur berbagai material komposisi HRC.
5. *Weather Station*, digunakan sebagai pendeteksi kelembaban dan kecepatan angin saat proses pengujian.
6. *British Pendulum Test*, digunakan untuk mengetahui nilai *BPN* pada pengujian kekesatan benda uji.

2.3 Prosedur Penelitian

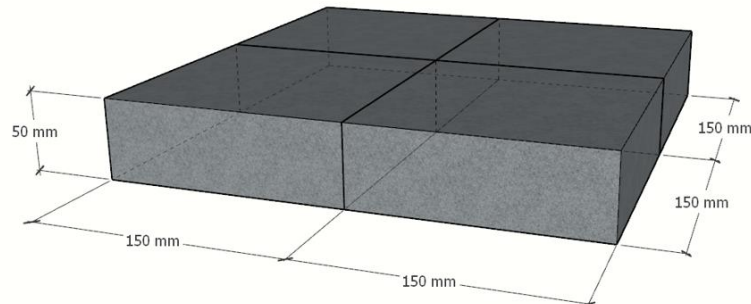
Langkah-langkah penelitian mencakup beberapa tahap, antara lain tahap persiapan, pelaksanaan pengujian, serta analisis terhadap hasil pengujian tersebut. tahapan tersebut disajikan dalam bentuk bagan alir pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagan Alir Penelitian

2.4 Jumlah Sampel Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini merupakan *Hot Mix Asphalt* (HMA) dengan klasifikasi *dense graded asphalt* berbentuk *slab* persegi dengan ukuran 300mm x 300mm x 50 mm yang terdiri dari 5 buah slab. Kemudian setiap *slab* pada benda uji akan dibagi menjadi 4 bagian sama rata yang akan menghasilkan 20 buah *slab* persegi dengan ukuran 150mm x 150mm x 50mm seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ilustrasi benda uji

Pemilihan variasi benda uji yang digunakan dalam penelitian, berdasarkan kombinasi bahan dasar polimer (*base polymer*), bahan pengisi anorganik (*inorganic filler*), dan *skid resistance agent*. Setiap jenis campuran diuji dalam dua sampel (duplikasi) untuk menjaga konsistensi data, sehingga total keseluruhan benda uji terpilih berjumlah 20 spesimen. Jumlah benda uji dan variasi campuran HRC yang digunakan dalam pengujian disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penentuan variasi sampel benda uji.

Jenis Benda Uji	Base Polymer	Inorganic Filler	Skid Resistance Agent	Sub Jumlah	Jumlah
Tanpa HRC (Kontrol)	tidak menggunakan	tidak menggunakan	tidak menggunakan	2	20
Epoksi	Epoksi Resin	TiO ₂	tidak menggunakan	2	
Epoksi Silika		TiO ₂	Silika	2	
Epoksi Keramik		TiO ₂	Keramik	2	
Akrilik	Akrilik Waterbased	TiO ₂	tidak menggunakan	2	
Akrilik Silika		TiO ₂	Silika	2	
Akrilik Keramik		TiO ₂	Keramik	2	
Becool	Cat Komersil Waterbased (BeCool)	tidak menggunakan	tidak menggunakan	2	
Becool Silika			Silika	2	
Becool Keramik			Keramik	2	

2.5 Heat Reflective Coating

Heat-reflective coatings (HRC) adalah lapisan pendingin yang berfungsi untuk menurunkan suhu permukaan dengan memantulkan sebagian besar radiasi matahari yang mengenai aspal. Polimer organik yang sering digunakan dalam pembuatan HRC adalah *epoxy resin* dan *acrylic polymer* (Xie et al., 2015). Salah satu komponen utama dalam pelapis ini adalah bahan yang efektif memantulkan sinar matahari, yang dikenal sebagai *inorganic fillers* dapat berupa titanium dioksida (TiO₂) karena memiliki indeks bias tinggi, merupakan pigmen putih yang paling banyak digunakan saat ini karena sifatnya yang tidak beracun (Xie, Li, Zhao, et al., 2019). Penambahan material *skid resistance agent* akan mempengaruhi performa termal dan performa kekesatan lapisan pendingin pada permukaan perkerasan jalan dan dapat mengurangi silau (Fan et al., 2022). *Trial and error* dilakukan dalam pembuatan komposisi bahan campuran dengan mengadopsi nilai takaran dari penelitian terdahulu, salah satu indikator keberhasilan dari percobaan ini adalah tercapainya campuran yang tidak menggumpal serta mampu diterapkan secara merata pada sampel aspal, dengan memperhatikan keseimbangan proporsi masing-masing bahan yang dijelaskan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Proposi *HRC* dengan bahan dasar Epoksi Resin

Material	<i>Epoxy Resin</i>	<i>Hardener</i>	<i>TiO₂</i>	<i>Texanol</i>	<i>Dispersant</i>	<i>Defoamer</i>
Proporsi (%)	34,8	17,40	30,40	16,50	0,60	0,30
Berat (g)	48,91	10,22	80,52	9,79	0,37	0,19

Tabel 2.3 Proposi *HRC* dengan bahan dasar Akrilik

Material	<i>Acrylic</i>	<i>Coalescing</i>	<i>TiO₂</i>	<i>Texanol</i>	<i>Matting</i>	<i>Dispersant</i>	<i>Defoamer</i>
Proporsi (%)	39,80	8,40	25,40	8,40	6,00	6,00	6,00
Berat (g)	33,84	6,46	87,21	6,46	6,32	4,86	4,86

Proses pembuatan campuran *HRC* dilakukan dengan menggunakan alat High Shear Mixer yang tersedia pada laboratorium. Langkah pertama Pembuatan *HRC* dengan bahan dasar epoksi yaitu memasukkan bahan epoksi resin dan texanol dengan kecepatan pencampuran bahan 1000r/min. Kedua, dimasukkan bahan campur inorganic filler berupa titanium dioxide dengan kecepatan yang sama. Kemudian, ditambahkan dispersant dan defoamer ditengah pencampuran secara perlahan, kemudian dilakukan penambahan hardener. Sedangkan, langkah pertama pembuatan *HRC* dengan bahan dasar akrilik, dilakukan pencampuran dispersant, defoamer dan mating agent dengan kecepatan 150r/min hingga campuran dirasa cukup baik. Kedua, dimasukkan acrylic polymer, titanium dioxide, kemudian dilakukan penambahan coalescing agent dan texanol. Setiap langkah pada pencampuran material dilakukan selama 10 menit. Pencampuran *skid resistance agent* dikerjakan bersamaan pada tahap akhir setiap variasi pembuatan *HRC*.

2.6 Skid Resistance Agent

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Jiang et al., 2020), penambahan agregat dengan ukuran 0,6 mm hingga 1,18 mm pada campuran *HRC* dapat menambah nilai *BNP* secara signifikan. Pencampuran yang dilakukan bersamaan dengan pembuatan *HRC* sebelum dihamparkan pada sampel aspal merupakan metode yang efektif karena memiliki konsistensi yang lebih baik terhadap performa yang dihasilkan. Menurut penelitian Zheng et al., (2015), partikel anti selip tersebut dapat berupa *emery*, *glass beads*, *porcelain*, keramik dan pasir silika. Berdasarkan penelitian Fan et al., (2022), dengan memperhatikan dari sudut pandang nilai ekonomis dan performa *thermal*, dosis optimal lapis *HRC* sebesar 0,75 g/m² sedangkan dosis optimal untuk penambahan material *skid resistance agent* sebesar 0,3 kg/m² setara dengan 40% berat total campuran *HRC*. *Skid Resistance Agent* yang digunakan pada penelitian ini berupa pasir silika dan keramik dapat dilihat pada Gambar 2.3.

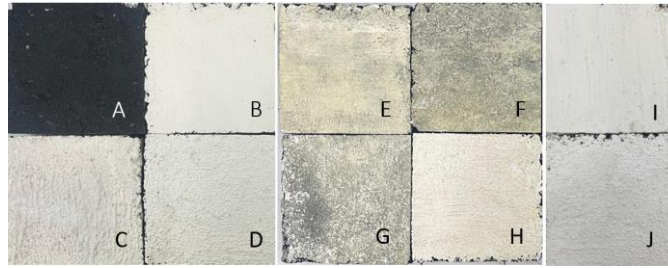


Gambar 2.3. Pasir Silika (A) dan Keramik (B)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

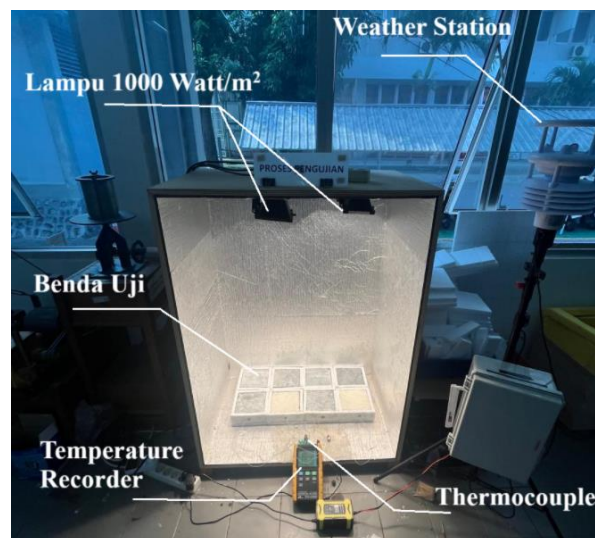
3.1 Pengujian *Heating Box*

Setelah campuran *HRC* berhasil dibuat akan dilakukan pemaparan pada sampel benda uji dan didiamkan selama 24 jam hingga dirasa cukup kering. Proses pengujian *heating box* dilakukan untuk menghasilkan performa termal dari setiap variasi terpilih. Variasi visual permukaan benda uji *HRC* dengan kombinasi material yang berbeda-beda dengan kode huruf A hingga J, benda uji Kontrol (A), benda uji Epoksi (B), benda uji Epoksi Silika (C), benda uji Epoksi Keramik (D), benda uji Becool (E), benda uji Becool Silika (F), benda uji Becool Keramik (G), benda uji Akrilik Silika (H), benda uji Akrilik (I), benda uji Akrilik Keramik (J). Pemaparan variasi campuran *HRC* pada benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.1.



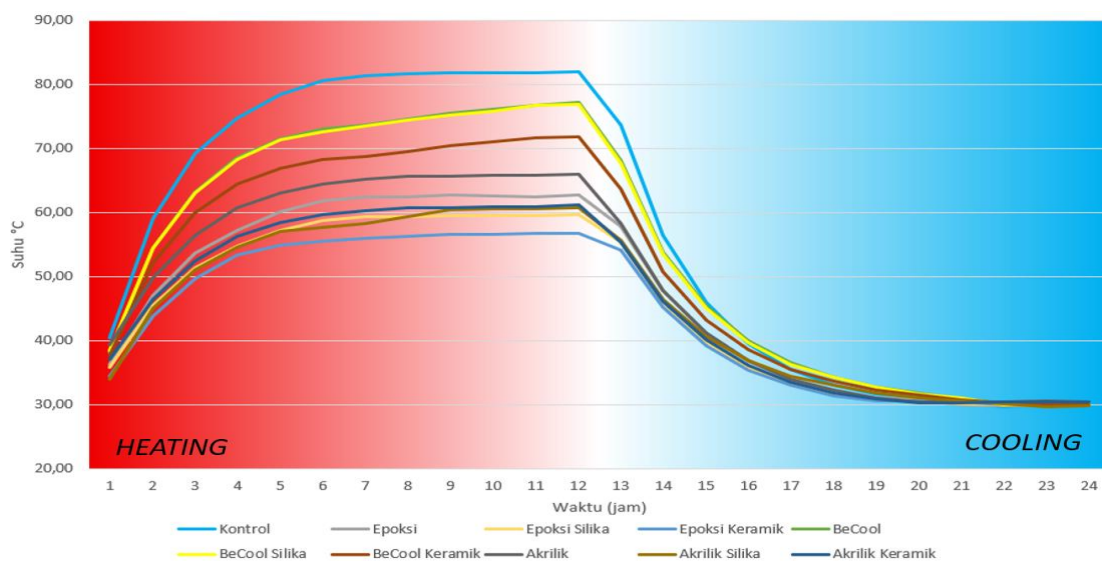
Gambar 3.1 Hasil pemaparan berbagai campuran *HRC* pada benda uji.

Pengujian dilakukan dengan durasi total 24 jam, meliputi 12 jam simulasi kondisi *heating* dengan menggunakan lampu 1000 Watt/m², serta 12 jam berikutnya tanpa menggunakan lampu pada kondisi *cooling* yang merepresentasikan sinar matahari pada kondisi siang dan malam yang diterima oleh benda uji pada penerapannya di lapangan. Alat *weather station* digunakan untuk mencatat perubahan kelembaban udara dan kecepatan angin selama proses pengujian berlangsung. Proses pengujian *heating box* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



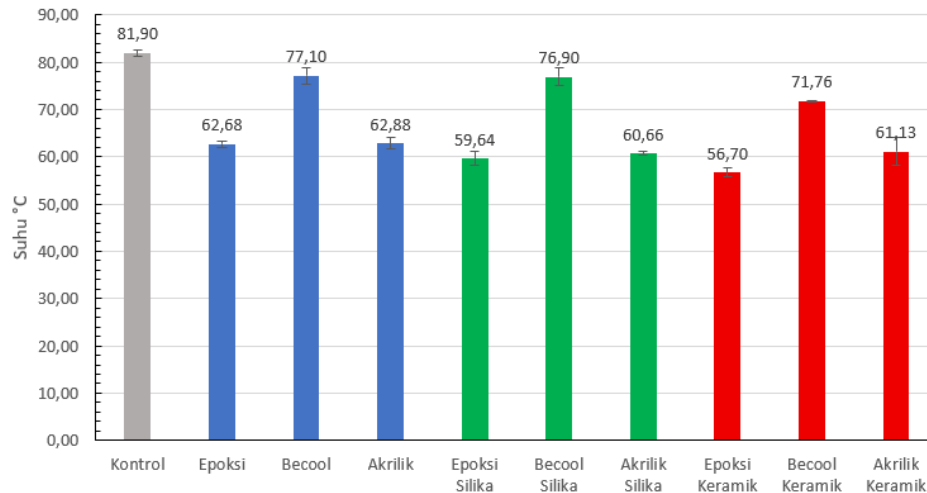
Gambar 3.2 Proses pengujian Heating Box.

Setelah pengujian selesai akan menghasilkan nilai perubahan suhu yang dicatat setiap 5 menit dengan alat *temperature recorder* yang kemudian dikonversikan menjadi data perubahan suhu rerata per jam. Nilai perbandingan performa termal dari berbagai jenis campuran *Heat Reflective Coating* disajikan pada Gambar 3.3 dan 3.4.



Gambar 3.3 Grafik suhu rerata pada kondisi *heating* dan *cooling*.

Pada grafik di atas menunjukkan bahwa perkerasan lentur yang tidak diberikan lapisan *Heat Reflective Coating* memiliki suhu 81,90 °C pada suhu puncak, yang akan dijadikan kontrol dalam perbandingan performa thermal. Hasil dari berbagai campuran HRC menunjukkan terdapat perubahan suhu signifikan yang mengindikasikan kemampuannya untuk menjaga suhu lebih rendah pada kondisi *heating*. Gambar 3.4 menunjukkan nilai perbandingan suhu puncak pada berbagai variasi campuran HRC.



Gambar 3.4 Perbandingan performa thermal pada suhu puncak.

Pada diagram di atas menunjukkan suhu puncak dari berbagai campuran HRC yang dihasilkan pada pengujian *heating box*. Penggunaan HRC dengan bahan dasar epoksi mendapatkan suhu puncak rerata sebesar 62,68°C dan mengalami penurunan suhu pada epoksi dengan bahan tambah silika dengan suhu 59,64°C. Performa thermal terbaik didapatkan pada sampel benda uji epoksi keramik dengan suhu puncak paling rendah yaitu 56,70°C dengan selisih 25,2°C jika dibandingkan dengan benda uji kontrol. Hasil performa thermal pada campuran HRC dengan bahan akrilik mendapatkan suhu puncak rerata 62,88°C dan mengalami peningkatan performa thermal setelah ditambahkan silika dan keramik dengan suhu puncak 60,66°C dan 61,13°C. Sedangkan, pada penggunaan cat komersil BeCool didapatkan suhu puncak rerata yaitu 77,10°C dan sedikit menurun setelah diberikan agregat tambah berupa silika dan keramik dengan suhu 76,90°C dan 71,76°C. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *skid resistance agent* ikut berperan dalam peningkatan performa thermal.

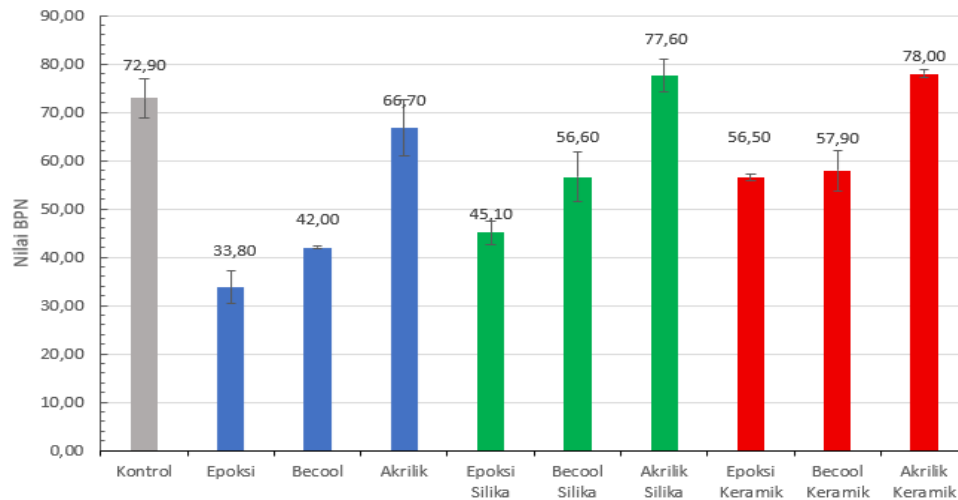
3.2 Hasil Pengujian *Skid Resistance*

Friction sangat penting untuk memastikan keamanan kendaraan saat beroperasi di permukaan jalan. Permukaan jalan yang licin dapat meningkatkan risiko kecelakaan, terutama dalam kondisi cuaca buruk. Oleh karena itu, pengukuran *friction* menjadi hal yang krusial, dan salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengukurnya adalah *British Pendulum Test* (Praticò et al., 2021). Nilai *skid resistance* minimum yang disarankan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai *skid resistance* minimum yang disarankan (Overseas road notes 18, 1999).

Kategori	Tipe Lokasi	Nilai <i>Skid Resistance</i>
A	Lokasi-lokasi yang sulit seperti: 1. Bundaran 2. Belokan berjari-jari <150 m pada jalan bebas hambatan. 3. Kemiringan, 1:20 atau lebih curam, dengan panjang >100 m	65
B	Jalan utama/cepat, menerus, jalan kelas 1, dan jalan dengan lalu lintas berat di perkotaan (>2000 kendaraan per hari)	55
C	Lokasi-lokasi lainnya	45

Hasil pengujian kekesatan permukaan pada suhu ruang menggunakan alat *British Pendulum Tester* disajikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Perbandingan Nilai BPN.

Pengujian ini bertujuan untuk menilai pengaruh penambahan bahan anti selip mampu meningkatkan tingkat kekesatan permukaan dan memenuhi standar minimum koefisien gesek yang disarankan pada aplikasi permukaan jalan. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, tidak semua variasi campuran memenuhi nilai BPN yang disarankan ≥ 55 , sebagaimana tercantum dalam Tabel 3.1. Pada benda uji HRC dengan bahan dasar hanya epoksi memiliki nilai BPN yang relatif rendah yaitu 33,8 dan memiliki peningkatan nilai BPN sebesar 45,1 setelah ditambahkan pasir silika. Sedangkan, epoksi dengan penambahan keramik dapat meningkatkan nilai BPN menjadi 56,5 yang memenuhi nilai minimal *skid resistance* yang disarankan. Performa nilai kekesatan pada penggunaan cat komersil becool dengan nilai BPN 42 dan meningkat setelah diberikan agregat tambahan pasir silika dan keramik menjadi 56,6 dan 57,9. Berdasarkan hasil penelitian, benda uji dengan bahan dasar hanya akrilik memiliki nilai BPN 66,7 di atas nilai yang disarankan. Performa *skid resistance* terbaik dihasilkan dari variasi benda uji akrilik dengan bahan tambah keramik dengan nilai BPN 78, dan benda uji akrilik silika dengan nilai BPN 77,6 lebih tinggi jika dibandingkan dengan benda uji kontrol tanpa HRC dengan nilai BPN 76,73. Temuan ini menunjukkan bahwa penambahan *skid resistance agent* seperti pasir silika dan keramik sangat efektif dalam meningkatkan performa kekesatan (*friction*) permukaan jalan yang dilapisi HRC, sehingga dapat berkontribusi langsung terhadap aspek keselamatan berkendara.

Evaluasi gabungan performa termal dan nilai *Skid Resistance (BPN)* bertujuan untuk mengidentifikasi formulasi terbaik yang mampu menurunkan suhu permukaan jalan secara signifikan, sekaligus tetap mempertahankan atau meningkatkan aspek keselamatan berkendara melalui nilai kekesatan yang memadai. Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi akrilik keramik menduduki peringkat tertinggi dengan kombinasi performa terbaik, yaitu suhu puncak $61,13^{\circ}\text{C}$ dengan nilai *BPN* 78, disusul dengan kombinasi akrilik silika menduduki peringkat kedua dengan suhu puncak $60,66^{\circ}\text{C}$ dan nilai *BPN* 77,6. Benda uji dengan bahan dasar hanya akrilik memiliki nilai BPN 66,7 dengan suhu puncak $62,88^{\circ}\text{C}$. Kombinasi ini tidak hanya efektif dalam menurunkan suhu dibandingkan dengan kontrol ($81,91^{\circ}\text{C}$), tetapi juga memberikan nilai kekesatan tinggi, melebihi batas yang disarankan ($\text{BPN} \geq 55$) sehingga direkomendasikan untuk lokasi yang memprioritaskan keselamatan tanpa mengorbankan performa termal. Sementara itu, kombinasi epoksi keramik dapat menyeimbangkan kebutuhan performa termal dan nilai kekesatan dengan suhu puncak terendah yaitu $56,70^{\circ}\text{C}$ dengan selisih $35,21^{\circ}\text{C}$ jika dibandingkan dengan benda uji kontrol dan nilai BPN 56,5 yang berada sedikit di atas batas minimum yang disarankan. Kombinasi epoksi silika memiliki suhu puncak $59,64^{\circ}\text{C}$ namun memiliki nilai BPN 45,1 di bawah nilai yang disarankan. Sedangkan, variasi epoksi tanpa tambahan menunjukkan performa kekesatan yang paling buruk dengan nilai *BPN* 33,8, meskipun memiliki performa termal yang memuaskan $62,68^{\circ}\text{C}$, namun tidak disarankan untuk penggunaan di lapangan. Formulasi dari cat komersil seperti *Becool*, baik tanpa tambahan maupun dengan tambahan pasir silika dan keramik, secara umum menunjukkan performa termal yang relatif rendah dengan nilai kekesatan yang hanya cukup.

4 KESIMPULAN

Penambahan *Skid resistance agent* berupa pasir silika dan keramik memiliki dampak pada peningkatan *friction* yang signifikan serta berpengaruh pada peningkatan performa termal pada lapisan *heat reflective coating*. Hasil pengujian menunjukkan variasi *HRC* berbasis epoksi tanpa bahan tambah memiliki nilai *BPN* paling rendah dengan nilai 33,8 meskipun memiliki suhu puncak 62,68°C. Penambahan pasir silika dan keramik pada campuran epoksi meningkatkan nilai *BPN* menjadi 45,1 dan 56,5 dengan suhu puncak yang lebih rendah, terutama pada kombinasi epoksi-keramik dengan suhu puncak 56,71°C. Penggunaan cat komersil Becool juga menunjukkan peningkatan nilai *BPN* dari 42 menjadi 56,6 dengan penambahan silika dan 57,9 dengan penambahan keramik, meskipun tidak memberikan performa termal yang baik. Variasi campuran akrilik dengan keramik menghasilkan nilai kekesatan tertinggi dengan nilai *BPN* 78 dan mampu menjaga suhu permukaan tetap rendah dengan suhu puncak 61,13°C. Dengan demikian, kombinasi akrilik dan keramik merupakan formulasi optimal karena memberikan keseimbangan terbaik antara performa termal dan keselamatan jalan pada aplikasi *heat reflective coating*.

REFERENSI

- Centre, O. (1999). *Overseas Road Note 18 A guide to the pavement evaluation and maintenance of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries*.
- Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island - A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224–240.
- Cao, X., Tang, B., Zou, X., & He, L. (2015). Analysis on the cooling effect of a heat-reflective coating for asphalt pavement. *Road Materials and Pavement Design*, 16(3), 716–726. <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1026383>
- Zheng, M., Han, L., Wang, F., Mi, H., Li, Y., & He, L. (2015). Comparison and analysis on heat reflective coating for asphalt pavement based on cooling effect and anti-skid performance. *Construction and Building Materials*, 93, 1197–1205.
- Xie, N., Wang, H., & Feng, D. (2015). Coating materials to increase pavement surface reflectance. In *Eco-efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs: Design, Properties and Applications* (Issue December 2015). Elsevier Ltd.
- Xie, N., Li, H., Zhao, W., Zhang, C., Yang, B., Zhang, H., & Zhang, Y. (2019). Optical and durability performance of near-infrared reflective coatings for cool pavement: Laboratorial investigation. *Building and Environment*, 163(May), 106334.
- Jiang, Y., Deng, C., Chen, Z., & Tian, Y. (2020). Evaluation of the cooling effect and anti-rutting performance of thermally resistant and heat-reflective pavement. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(4), 447–456.
- Praticò, F. G., Briante, P. G., Colicchio, G., & Fedele, R. (2021). An experimental method to design porous asphalts to account for surface requirements. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8(3), 439–452.
- Fan, J., Jiang, Y., Yi, Y., Tian, T., Yuan, K., & Xue, J. (2022). Effects of load and environment on the durability and anti-skid performance of road heat-reflective coating. *Construction and Building Materials*, 346.
- Rahman, T., Zudhy Irawan, M., Noor Tajudin, A., Rizka Fahmi Amrozi, M., & Widyatmoko, I. (2023). Knowledge mapping of cool pavement technologies for urban heat island Mitigation: A Systematic bibliometric analysis. *Energy and Buildings*, 291(December 2022), 113133.