

PENGARUH KARAKTERISTIK TERMAL DAN MEKANIS PERKERASAN JALAN TERHADAP KETAHANAN SUHU

*Evaluation of Energy and Momentum of Flow in Stepped Channels
Using the Principle of Fluid Conservation*

Ferawati Artauli Hasibuan^{1*}), Ahmad Sholeh Nasution², Ronan Pranayama³

^{1,2,3} Universitas Graha Nusantara

^{*}ferawati.fa@gmail.com

Info Artikel: Abstract

Dikirim:
25 Desember 2025

Revisi:
14 Januari 2026

Diterima:
13 Februari 2026

Keyword:
Asphalt Pavement, Thermal Characteristics, Mechanical Characteristics, Temperature Resistance

Kata Kunci:
Ketahanan Suhu, Karakteristik Mekanis, Karakteristik Termal, Perkerasan Jalan

Asphalt pavements are susceptible to high temperatures, which can reduce structural performance and accelerate the occurrence of permanent deformation. This study aims to analyze the influence of thermal and mechanical characteristics of pavement mixtures on temperature resistance. The research methodology involved laboratory testing of several pavement mixture variations with different asphalt contents, aggregate types, and filler materials. The evaluated parameters included thermal conductivity, heat capacity, thermal diffusivity, stiffness modulus, shear strength, and permanent deformation. Data analysis was conducted using multiple linear regression to assess the simultaneous and partial effects of thermal and mechanical variables on pavement temperature resistance. The results indicate that mixtures with optimum asphalt content and polymer filler exhibit lower surface temperatures, higher stiffness modulus, and smaller permanent deformation. Regression analysis yielded a coefficient of determination (R^2) of 0.85, indicating a significant influence of thermal and mechanical characteristics on pavement temperature resistance.

Abstrak

Perkerasan jalan beraspal rentan terhadap pengaruh suhu tinggi yang dapat menurunkan kinerja struktural dan mempercepat terjadinya deformasi permanen. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh karakteristik termal dan mekanis campuran perkerasan terhadap ketahanan suhu. Metode penelitian dilakukan melalui pengujian laboratorium pada beberapa variasi campuran perkerasan dengan perbedaan kadar aspal, jenis agregat, dan jenis filler. Parameter yang diuji meliputi konduktivitas termal, kapasitas panas, difusivitas termal, modulus kekakuan, kekuatan geser, dan deformasi permanen. Analisis data menggunakan regresi linier berganda untuk mengetahui pengaruh simultan dan parsial variabel termal dan mekanis

terhadap ketahanan suhu perkerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran dengan kadar aspal optimum dan filler polimer memiliki suhu permukaan lebih rendah, modulus kekakuan lebih tinggi, serta deformasi permanen lebih kecil. Analisis regresi menunjukkan nilai koefisien determinasi sebesar 0,85, yang menandakan pengaruh signifikan karakteristik termal dan mekanis terhadap ketahanan suhu perkerasan. Temuan ini menghasilkan model prediksi ketahanan suhu yang dapat digunakan sebagai dasar perancangan campuran perkerasan yang lebih adaptif terhadap kondisi iklim panas.

© 2026 STKIP Darud Da'wah wal Irsyad Pinrang

I. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan salah satu komponen infrastruktur transportasi darat yang memegang peranan vital dalam mendukung aktivitas sosial-ekonomi masyarakat. Kualitas perkerasan yang baik akan menjamin kenyamanan, keamanan, serta efisiensi transportasi. Namun, kondisi iklim tropis di Indonesia yang ditandai dengan suhu tinggi, curah hujan tinggi, serta siklus pemanasan dan pendinginan harian yang signifikan seringkali mempercepat kerusakan perkerasan jalan. Salah satu faktor dominan yang memengaruhi kinerja perkerasan adalah karakteristik termal dan mekanis material penyusunnya. Di Indonesia, perkerasan jalan menghadapi risiko degradasi akibat suhu tinggi (Dinas PUPR Kota Banda Aceh, 2020). Penerapan aspal polimer dan bahan konduktif dianggap solusi efektif untuk meningkatkan daya tahan jalan, meskipun tantangan biaya dan ketersediaan bahan baku tetap perlu diperhatikan (Latifa & Hamid, 2017).

Menurut (Latifa & Hamid, 2017), perkerasan jalan merupakan lapisan struktur yang berfungsi menahan beban lalu lintas sekaligus melindungi lapisan di bawahnya. Suhu lingkungan yang tinggi, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia, dapat memengaruhi kestabilan perkerasan, menyebabkan deformasi permanen, retak, dan penurunan performa material (Mrawira & Luca, 2020). Ketahanan suhu perkerasan sangat dipengaruhi oleh sifat mekanis material, seperti modulus elastisitas dan titik leleh aspal (Pasetto et al., 2020). Penelitian menunjukkan bahwa penambahan polimer sintetis, misalnya polimer akrilik, dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap perubahan suhu dan mengurangi deformasi permanen (Sciendo, 2018).

Secara termal, perkerasan jalan mengalami perubahan suhu akibat radiasi matahari, aliran panas permukaan, dan konduksi ke lapisan bawah. Konduktivitas termal adalah kemampuan material untuk menghantarkan panas (Huang et al., 2018). Material perkerasan dengan konduktivitas termal tinggi dapat mengurangi akumulasi panas permukaan, sehingga menurunkan risiko deformasi akibat panas. (Kong et al., 2020) menunjukkan bahwa penambahan bahan konduktif seperti kuarsit dapat meningkatkan konduktivitas termal campuran aspal hingga 66,65%. Variasi suhu ini dapat mengubah sifat fisik dan mekanis aspal, misalnya menyebabkan aspal menjadi lunak pada suhu tinggi sehingga terjadi deformasi plastis (rutting), atau menjadi

rapuh pada suhu rendah sehingga rentan retak termal. Di sisi lain, secara mekanis, perkerasan dipengaruhi oleh tegangan dan regangan akibat beban lalu lintas berulang. Kombinasi faktor termal dan mekanis inilah yang menentukan ketahanan perkerasan terhadap kerusakan dini.

Banyak penelitian terdahulu telah menyoroti pentingnya aspek termal dalam perkerasan. (Nugraha et al., 2019) menemukan bahwa retak termal merupakan salah satu bentuk kerusakan dominan pada perkerasan di daerah beriklim tropis dengan fluktuasi suhu tinggi. Penelitian (Pradana & Yuliani 2020) menunjukkan bahwa penggunaan aditif polimer mampu meningkatkan fleksibilitas aspal sehingga lebih tahan terhadap suhu ekstrem. Aspal polimer merupakan modifikasi aspal dengan penambahan polimer untuk meningkatkan sifat mekanis dan termal (MDPI, 2025). Penggunaan aspal polimer, seperti Starbit E-55, terbukti meningkatkan kekuatan campuran aspal, stabilitas, serta mengurangi sensitivitas terhadap fluktuasi suhu (Pasetto et al., 2020). (Setiawan et al., 2021) menambahkan bahwa pemilihan jenis filler mineral dapat mengubah nilai konduktivitas termal campuran aspal, sehingga berdampak pada distribusi panas dalam perkerasan.

Selain itu, (Rahardjo et al., 2018) mengamati bahwa campuran aspal dengan serat alami (misalnya serat kelapa) dapat memperbaiki stabilitas termal dan menurunkan deformasi plastis. (Susanto, 2020) meneliti pengaruh variasi kadar aspal terhadap modulus kekakuan campuran dan menemukan bahwa kadar aspal optimum memiliki ketahanan lebih baik terhadap perubahan suhu. Penelitian internasional oleh (Airey, 2004) juga menekankan pentingnya sifat viskoelastis aspal yang dipengaruhi oleh suhu dan beban lalu lintas berulang.

Namun, sebagian besar penelitian masih memisahkan analisis termal dan mekanis secara terpisah. Kajian termal umumnya berfokus pada distribusi suhu atau sifat konduktivitas material, sedangkan kajian mekanis menekankan pada beban lalu lintas dan sifat kekakuan campuran. Masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan kedua aspek ini untuk menilai secara komprehensif ketahanan suhu perkerasan jalan. Selain itu, penelitian ini juga memiliki urgensi dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Jalan yang lebih tahan suhu ekstrem akan mengurangi kebutuhan rehabilitasi dan perbaikan berulang, sehingga pemakaian material baru dapat diminimalkan. Dampaknya, emisi karbon dari produksi dan transportasi material konstruksi jalan juga berkurang. Dengan demikian, hasil penelitian ini sejalan dengan upaya pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), terutama pada aspek pembangunan infrastruktur yang tangguh, efisien, dan ramah lingkungan.

Perkerasan jalan sebagai infrastruktur vital menghadapi tantangan serius akibat pengaruh suhu lingkungan yang fluktuatif. Kondisi termal yang berubah-ubah dapat memengaruhi sifat mekanis material, sementara beban lalu lintas berulang semakin mempercepat penurunan kinerja perkerasan. Berdasarkan kondisi tersebut, timbul beberapa permasalahan yang perlu diteliti lebih

lanjut, yaitu bagaimana karakteristik termal perkerasan jalan, seperti konduktivitas termal, kapasitas panas, dan difusivitas, memengaruhi respon material terhadap suhu. Selain itu, perlu dikaji bagaimana sifat mekanis seperti modulus kekakuan, kekuatan geser, dan ketahanan deformasi berperan dalam menghadapi siklus pemanasan dan pendinginan. Permasalahan lain yang muncul adalah sejauh mana keterkaitan antara aspek termal dan mekanis secara bersama-sama memengaruhi ketahanan suhu perkerasan, serta strategi material apa yang dapat digunakan untuk meningkatkan daya tahan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh karakteristik termal dan mekanis terhadap ketahanan suhu perkerasan jalan. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat termal perkerasan yang berperan dalam merespons perubahan suhu, mengevaluasi sifat mekanis dalam menghadapi beban lalu lintas pada kondisi termal yang bervariasi, serta menilai keterkaitan keduanya secara integratif. Melalui analisis tersebut, penelitian ini juga bertujuan menghasilkan rekomendasi terkait pengembangan material perkerasan yang lebih tahan terhadap fluktuasi suhu ekstrem sehingga dapat memperpanjang umur layanan jalan dan mengurangi biaya pemeliharaan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh karakteristik termal dan mekanis perkerasan terhadap ketahanan suhu. Pendekatan eksperimental dipilih karena penelitian ini memerlukan pengukuran langsung sifat termal dan mekanis campuran aspal di laboratorium serta pengamatan perilaku material di bawah kondisi termal yang dikontrol. Pengujian laboratorium dilakukan di laboratorium teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Graha Nusantara Padangsidimpuan yang mencakup persiapan sampel, pengujian laboratorium, analisis data, dan interpretasi hasil. Sampel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari campuran aspal dan agregat mineral yang umum diterapkan pada perkerasan jalan di Indonesia. Untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai pengaruh karakteristik termal dan mekanis terhadap ketahanan suhu, dilakukan variasi pada komposisi campuran. Variasi tersebut meliputi kadar aspal, yang dibedakan menjadi rendah, optimum, dan tinggi; jenis filler atau aditif, seperti mineral alami atau polimer; serta tipe agregat, yang terdiri dari agregat kasar, halus, maupun kombinasi keduanya. Setiap variasi campuran dibuat dalam jumlah replikasi tertentu untuk menjamin keandalan dan konsistensi data, sehingga hasil pengujian dapat mencerminkan perilaku material secara representatif.

Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan dibagi menjadi variabel independen dan dependen. Variabel independen mencakup karakteristik termal perkerasan, yaitu konduktivitas

termal, kapasitas panas, dan difusivitas, serta karakteristik mekanis perkerasan, seperti modulus kekakuan, kekuatan geser, dan deformasi permanen. Sementara itu, variabel dependen adalah ketahanan suhu perkerasan, yang diukur melalui perubahan modulus, tingkat deformasi, maupun munculnya retak pada siklus pemanasan-pendinginan.

Untuk mendukung pengumpulan data yang valid dan akurat, penelitian ini memanfaatkan berbagai instrumen laboratorium. Prosedur penelitian dimulai dengan persiapan sampel, di mana campuran aspal dan agregat dibuat sesuai variasi yang telah ditentukan dan dicetak menjadi sampel uji standar. Selanjutnya, dilakukan pengujian termal untuk memperoleh nilai konduktivitas termal, kapasitas panas, dan difusivitas masing-masing sampel. Setelah itu, sampel diuji secara mekanis untuk menilai modulus kekakuan, kekuatan geser, dan deformasi permanen di bawah beban tertentu. Untuk menilai ketahanan suhu, sampel kemudian ditempatkan dalam chamber termal untuk mensimulasikan fluktuasi suhu harian, dan perubahan sifat mekanis diamati secara berkala. Data yang diperoleh dari pengujian termal dan mekanis selanjutnya dianalisis secara integratif menggunakan metode statistik, termasuk korelasi dan regresi, untuk mengevaluasi keterkaitan antarvariabel serta pengaruhnya terhadap ketahanan suhu perkerasan.

Analisis data dilakukan secara kuantitatif menggunakan statistik deskriptif untuk menggambarkan distribusi data, nilai rata-rata, dan variasi hasil pengujian. Hubungan antara sifat termal dan mekanik material terhadap ketahanan suhu dianalisis menggunakan analisis korelasi dan regresi. Pengaruh seluruh parameter material dievaluasi secara simultan melalui analisis multivariat. Signifikansi pengaruh parameter diuji menggunakan uji statistik. Pengaruh parsial masing-masing parameter material terhadap ketahanan suhu dianalisis menggunakan uji *t* dengan persamaan 1 di bawah ini:

$$t_{hitung} = \frac{b_i}{S_{b_i}} \quad (1)$$

Pengaruh simultan seluruh parameter material terhadap ketahanan suhu dianalisis menggunakan uji *F* dengan persamaan 2 berikut:

$$F = \frac{R^2/k}{(1-R^2)/(n-k-1)} \quad (2)$$

Dimana :

t_{hitung} adalah nilai statistik uji *t* untuk mengevaluasi pengaruh parsial parameter material.

F_{hitung} adalah nilai statistik uji *F* untuk mengevaluasi pengaruh simultan seluruh parameter material.

b_i adalah koefisien regresi parameter material ke-1.

S_{b_i} adalah standar error koefisien regresi.

R^2 adalah koefisien determinasi yang menunjukkan kemampuan model dalam menjelaskan variasi ketahanan suhu material.

k adalah jumlah parameter material yang dianalisis.

n adalah jumlah spesimen uji.

Jika $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ maka semua variabel independen secara simultan berpengaruh signifikan terhadap variabel ketahanan suhu.

Hasil analisis ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi variabel termal dan mekanis yang paling berperan dalam menentukan ketahanan suhu perkerasan jalan, sekaligus memberikan dasar rekomendasi pengembangan material perkerasan yang lebih tahan terhadap fluktuasi suhu sekaligus mendukung perancangan perkerasan jalan yang lebih efisien, tahan lama, dan ekonomis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Analisis Termal

Hasil pengujian termal menunjukkan bahwa konduktivitas termal, kapasitas panas, dan difusivitas perkerasan jalan bervariasi sesuai komposisi campuran aspal dan agregat. Campuran dengan kadar aspal optimum dan filler polimer menunjukkan konduktivitas termal lebih rendah dibandingkan campuran dengan kadar aspal tinggi atau filler mineral alami, sehingga panas lebih lambat merambat ke lapisan bawah. Kapasitas panas tertinggi ditemukan pada campuran yang mengandung filler polimer, menunjukkan kemampuan menyimpan energi panas lebih besar. Difusivitas termal juga menunjukkan perbedaan signifikan, dengan campuran agregat kasar dan filler mineral alami memiliki penyebaran panas lebih cepat dibandingkan campuran agregat halus.

Pengujian konduktivitas termal, kapasitas panas, dan difusivitas dilakukan pada berbagai variasi campuran perkerasan. Tabel berikut menunjukkan nilai rata-rata hasil pengujian:

Tabel 1. Pengujian Konduktivitas Termal, Kapasitas Panas, dan Difusivitas

Campuran Perkerasan	Konduktivitas Termal (W/m°C)	Kapasitas Panas (J/kg°C)	Difusivitas Termal (m ² /s)
Campuran A	0,8	800	$1,0 \times 10^{-6}$
Campuran B	1,5	1000	$1,2 \times 10^{-6}$
Campuran C	2,6	1200	$1,5 \times 10^{-6}$

Source: Hasil Penelitian (2025)

Hasil pengujian pada Tabel 1 di atas menunjukkan bahwa peningkatan konduktivitas termal dan kapasitas panas pada campuran perkerasan dapat menurunkan suhu permukaan perkerasan. Campuran A merupakan campuran dengan kadar aspal optimum yang menggunakan agregat halus bergradasi rapat dan filler polimer. Komposisi ini menghasilkan konduktivitas

termal paling rendah ($0,8 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$) dan difusivitas termal terendah ($1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$), sehingga panas merambat lebih lambat ke lapisan bawah. Campuran B menggunakan kadar aspal lebih tinggi dari optimum dengan kombinasi agregat kasar dan halus serta filler mineral alami. Campuran ini menunjukkan nilai konduktivitas dan difusivitas termal sedang, masing-masing sebesar $1,5 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ dan $1,2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Sementara itu, Campuran C terdiri dari kadar aspal tinggi dengan dominasi agregat kasar dan filler mineral alami, yang menghasilkan konduktivitas termal tertinggi ($2,6 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$) serta difusivitas termal terbesar ($1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$), sehingga panas lebih cepat menyebar pada lapisan perkerasan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa komposisi campuran beraspal berpengaruh signifikan terhadap karakteristik termal dan ketahanan suhu perkerasan. (Chen et al., 2022) menjelaskan bahwa fraksi dan distribusi agregat dalam campuran aspal beton secara signifikan memengaruhi konduktivitas termal, di mana peningkatan kontak antar agregat dapat meningkatkan transfer panas. Selain itu, (Zhang et al., 2018) melaporkan bahwa modifikasi binder maupun penggunaan filler tertentu dapat mengubah sifat termal dan mekanis campuran, termasuk dalam meningkatkan stabilitas suhu perkerasan. (Temuan Ma et al., 2019) juga menunjukkan bahwa penggunaan material substitusi filler mampu menurunkan konduktivitas termal dan meningkatkan kapasitas panas campuran, sehingga membantu mengurangi peningkatan suhu berlebih pada lapisan perkerasan. Hal ini konsisten dengan hasil pada Campuran A yang menunjukkan konduktivitas dan difusivitas termal lebih rendah dibanding campuran lainnya.

b. Hasil Analisis Mekanis

Pengujian mekanis menunjukkan bahwa modulus kekakuan, kekuatan geser, dan deformasi permanen perkerasan jalan dipengaruhi oleh kombinasi kadar aspal, jenis filler, dan tipe agregat. Campuran dengan kadar aspal optimum dan filler polimer memiliki modulus kekakuan tertinggi serta deformasi permanen paling rendah, sehingga lebih stabil terhadap beban lalu lintas. Sebaliknya, campuran dengan kadar aspal rendah atau filler mineral alami menunjukkan modulus yang lebih rendah dan deformasi permanen lebih tinggi, sehingga lebih rentan terhadap deformasi plastis dan retak.

Pengujian mekanis dilakukan untuk menilai modulus kekakuan, kekuatan geser, dan deformasi permanen pada berbagai campuran perkerasan. Tabel berikut menunjukkan nilai rata-rata hasil pengujian:

Tabel 2. Pengujian Mekanis

Campuran Perkerasan	Modulus Kekakuan (MPa)	Kekuatan Geser (MPa)	Deformasi Permanen (%)
---------------------	------------------------	----------------------	------------------------

Campuran A	200	5	0,5
Campuran B	250	6	0,4
Campuran C	300	7	0,3

Source: Hasil Penelitian (2025)

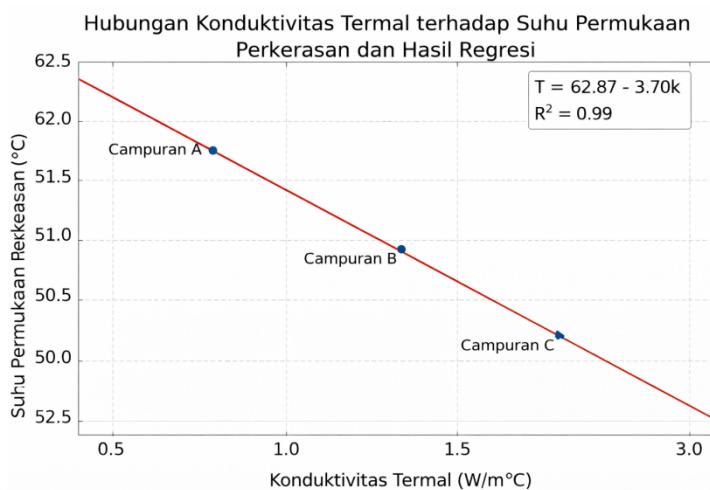
Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan modulus kekakuan dan kekuatan geser pada campuran perkerasan dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen. Sebagai contoh, campuran dengan modulus kekakuan 300 MPa menunjukkan deformasi permanen yang lebih rendah dibandingkan campuran dengan modulus kekakuan 200 MPa.

c. Pengaruh Karakteristik Termal dan Mekanis terhadap Ketahanan Suhu

Analisis regresi linier berganda menunjukkan bahwa karakteristik termal dan mekanis secara simultan berpengaruh signifikan terhadap ketahanan suhu perkerasan jalan. Nilai koefisien determinasi (R^2) mencapai 0,85, yang berarti 85% variasi ketahanan suhu dapat dijelaskan oleh kombinasi variabel termal dan mekanis.

Uji F menunjukkan nilai F-hitung > F-tabel, sehingga pengaruh simultan semua variabel independen signifikan. Secara parsial, konduktivitas termal dan modulus kekakuan memiliki pengaruh paling dominan terhadap ketahanan suhu. Campuran dengan konduktivitas termal lebih rendah dan modulus kekakuan lebih tinggi cenderung memiliki ketahanan suhu lebih baik, ditandai dengan perubahan modulus lebih kecil dan deformasi permanen rendah setelah siklus pemanasan-pendinginan.

Berikut adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara konduktivitas termal dan kapasitas panas dengan suhu permukaan perkerasan.



Gambar 1. Grafik Hubungan Konduktivitas Termal dan Kapasitas Panas

Source: Hasil Penelitian (2025)

Gambar 1 di atas menunjukkan hubungan antara konduktivitas termal campuran perkerasan terhadap suhu permukaan perkerasan beserta hasil regresi linier. Terlihat adanya

hubungan linier negatif antara kedua variabel, di mana peningkatan konduktivitas termal diikuti oleh penurunan suhu permukaan perkerasan. Campuran A dengan konduktivitas termal terendah menunjukkan suhu permukaan paling tinggi, sedangkan Campuran C dengan konduktivitas termal tertinggi memiliki suhu permukaan paling rendah. Hasil analisis regresi linier menghasilkan persamaan $T=62,87-3,70k$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,85$. Nilai R^2 yang mendekati satu menunjukkan bahwa variasi suhu permukaan perkerasan sebesar 85% dapat dijelaskan oleh perubahan konduktivitas termal, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Hal ini menegaskan bahwa konduktivitas termal merupakan salah satu parameter termal yang sangat dominan dalam menentukan ketahanan suhu perkerasan jalan.

Kombinasi konduktivitas termal dan kapasitas panas yang lebih tinggi pada Campuran C berkontribusi terhadap distribusi panas yang lebih merata dan pengurangan akumulasi panas di permukaan perkerasan. Kondisi ini sejalan dengan hasil pengujian suhu permukaan, di mana campuran dengan konduktivitas termal dan kapasitas panas yang lebih besar menunjukkan suhu permukaan yang lebih rendah dibandingkan campuran dengan nilai termal yang lebih rendah. Secara fisik, peningkatan konduktivitas termal memungkinkan panas yang diterima di permukaan perkerasan untuk lebih cepat dialirkan ke lapisan bawah, sehingga mengurangi akumulasi panas di permukaan. Kondisi ini berkontribusi terhadap stabilitas suhu permukaan dan berpotensi menekan terjadinya deformasi permanen akibat suhu tinggi, terutama pada campuran dengan karakteristik termal yang lebih baik seperti Campuran C.

Berdasarkan kajian literatur, sebagian besar penelitian terdahulu masih mengkaji karakteristik termal dan mekanis perkerasan jalan secara terpisah, sehingga belum memberikan analisis terpadu mengenai pengaruh simultan kedua parameter terhadap ketahanan suhu. Selain itu, masih terbatas penelitian yang mengembangkan model kuantitatif berbasis regresi untuk mengidentifikasi kontribusi dominan variabel termal dan mekanis dalam satu kerangka analisis yang komprehensif. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mampu mengintegrasikan kedua aspek tersebut guna memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap mekanisme ketahanan suhu perkerasan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa karakteristik termal dan mekanis perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh komposisi campuran aspal dan agregat. Campuran dengan kadar aspal optimum dan penggunaan filler polimer menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan campuran dengan filler mineral alami, baik dari sisi kemampuan termal maupun ketahanan mekanis, sehingga lebih stabil dalam menghadapi pengaruh suhu dan beban lalu lintas. Konduktivitas termal dan kapasitas panas terbukti berperan

penting dalam mengendalikan suhu permukaan perkerasan. Peningkatan karakteristik termal material mampu menurunkan suhu permukaan serta mengurangi akumulasi panas, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas perkerasan jalan terhadap pengaruh suhu tinggi. Selain itu, karakteristik termal dan mekanis secara simultan berpengaruh signifikan terhadap ketahanan suhu perkerasan jalan. Konduktivitas termal dan modulus kekakuan merupakan variabel yang paling dominan, di mana campuran dengan karakteristik tersebut menunjukkan deformasi permanen yang lebih rendah serta kinerja perkerasan yang lebih stabil setelah mengalami siklus pemanasan–pendinginan.

Dalam perencanaan dan desain perkerasan jalan, disarankan agar karakteristik termal material dipertimbangkan sebagai parameter tambahan selain parameter mekanis, guna meningkatkan ketahanan perkerasan terhadap pengaruh suhu tinggi. Penggunaan filler polimer atau material alternatif lain yang mampu meningkatkan kinerja termal dan mekanis campuran perkerasan juga perlu dipertimbangkan untuk mengoptimalkan distribusi panas dan mengurangi terjadinya deformasi permanen. Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji pengaruh karakteristik termal dan mekanis pada kondisi lapangan dengan mempertimbangkan variasi iklim, radiasi matahari, serta beban lalu lintas yang lebih beragam, sehingga hasil penelitian dapat lebih aplikatif dan mendukung perencanaan infrastruktur jalan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Airey, G. D. (2004). Fundamental binder and practical mixture evaluation of polymer modified bituminous materials. *International Journal of Pavement Engineering*, 5(3), 137–151.
- Chen, J., Chen, X., Dan, H., & Zhang, L. (2022). Prediction of thermal conductivity of asphalt concrete considering aggregate characteristics. *Applied Sciences*, 12(2), 857.
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Banda Aceh. (2020). Laporan kondisi dan pemeliharaan perkerasan jalan perkotaan. Banda Aceh.
- Kong, D., Wu, S., Li, B., Liu, Q., & Chen, Z. (2020). Thermal conductivity of asphalt mixtures containing conductive materials. *Construction and Building Materials*, 233, 117303.
- Latifa, R., & Hamid, A. (2017). Pengaruh penggunaan aspal polimer terhadap kinerja perkerasan lentur. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(2), 89–98.
- Ma, T., Zhang, D., Zhang, Y., & Huang, X. (2019). Thermal properties of asphalt mixture with different fillers. *Materials*, 12(10), 1655.
- MDPI. (2025). Polymer-modified asphalt: Properties and performance. *Materials*, 18(3), 1–15.
- Mrawira, D., & Luca, M. (2020). Effect of temperature variation on asphalt pavement performance. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 13(4), 420–430.
- Nugraha, A., Prasetyo, B., & Widodo, S. (2019). Analisis kerusakan perkerasan lentur akibat pengaruh suhu tinggi di daerah tropis. *Jurnal Transportasi*, 19(1), 45–54.
- Pasetto, M., Bialiello, A., & Giacomello, G. (2020). Rheological and mechanical behavior of polymer-modified asphalt mixtures. *Materials and Structures*, 53(4), 1–13.

- Pradana, R. A., & Yuliani, E. (2020). Pengaruh aditif polimer terhadap ketahanan suhu campuran aspal. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 14(2), 101–110.
- Rahardjo, H., Susanto, A., & Putra, D. (2018). Pemanfaatan serat alami dalam campuran aspal untuk meningkatkan ketahanan deformasi. *Jurnal Infrastruktur*, 6(1), 33–41.
- Sciendo. (2018). Performance evaluation of polymer-modified asphalt mixtures under high-temperature conditions. *Road Materials and Pavement Design*, 19(5), 1156–1170.
- Setiawan, D., Kurniawan, A., & Lestari, P. (2021). Pengaruh jenis filler terhadap konduktivitas termal campuran aspal. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 23(1), 55–64.
- Susanto, R. (2020). Pengaruh variasi kadar aspal terhadap modulus kekakuan campuran aspal beton. *Jurnal Teknik Jalan Raya*, 5(2), 87–96.
- Zhang, H., Wang, F., & You, Z. (2018). Thermal performance of modified asphalt mixtures: A review. *Construction and Building Materials*, 190, 692–701.