

Faktor-Faktor yang Berpengaruh dalam Pemilihan Material Ramah Lingkungan pada Proyek Jalan

Husnul Fathiyya^{1*}, Farida Rachmawati¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: husnulfathiyya@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	22 Juli 2024	<i>The development of road infrastructure not only improves public accessibility but also adds waste to the construction industry. Pavement projects require a large amount of raw materials, which has a significant impact on the environment. Therefore, the application of green materials is an alternative to reduce environmental impacts, save energy, reduce costs, and improve social systems. The use of green materials is one of the government's strategies in achieving sustainable development known as Sustainable Development Goals (SDGs). This study aims to identify factors that influence the selection of sustainable materials for national road pavements through descriptive statistical analysis. The results show that economic criteria are the main factor in the selection of green materials, followed by environmental and social criteria. This research can be a reference for the government in selecting green materials for sustainable national road projects.</i>
Diperbaiki	29 Juli 2024	
Disetujui	22 Agustus 2024	

Keywords: green material selection, road pavement, descriptive statistical analysis

Abstrak

Pembangunan infrastruktur jalan tidak hanya meningkatkan aksesibilitas masyarakat tetapi juga menambah limbah industri konstruksi. Proyek perkerasan jalan memerlukan bahan baku dalam jumlah besar, yang berdampak signifikan terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penerapan material ramah lingkungan (green material) menjadi alternatif untuk mengurangi dampak lingkungan, menghemat energi, mengurangi biaya, dan meningkatkan sistem sosial. Penggunaan material ramah lingkungan merupakan salah satu strategi pemerintah dalam mencapai pembangunan berkelanjutan yang dikenal sebagai Sustainable Development Goals (SDGs). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan material berkelanjutan untuk perkerasan jalan nasional melalui analisis statistik deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kriteria ekonomi adalah faktor utama dalam pemilihan green material, diikuti oleh kriteria lingkungan dan sosial. Penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pemerintah dalam memilih green material untuk proyek jalan nasional yang berkelanjutan.

Kata kunci: pemilihan material ramah lingkungan, perkerasan jalan, analisis statistik deskriptif

1. Pendahuluan

Infrastruktur jalan membuka akses baru dan menghubungkan wilayah, meningkatkan ekonomi, sosial, budaya, serta lingkungan melalui pembangunan yang seimbang. Infrastruktur ini memperlancar distribusi barang dan jasa, mempermudah pengiriman produksi, serta aksesibilitas pasar. Berdasarkan laporan PUPR tahun 2022, panjang jalan nasional non tol Indonesia mencapai 46.964,78 km, terdiri dari 74,45% jalan provinsi dan 63,64% jalan kabupaten/kota. Namun, pembangunan jalan juga meningkatkan limbah konstruksi yang sebagian besar dibuang untuk pengurugan lahan kosong dengan pemanfaatan minim [1], sehingga diperlukan pembangunan berwawasan lingkungan yang memperhatikan kelestarian ekologi manusia [2]. Pada 2013, sektor transportasi menyumbang 28% dari emisi gas rumah kaca [3], dengan kegiatan konstruksi jalan menyumbang emisi gas sekitar 80% [4],

dan pengangkutan material menggunakan energi 7% hingga 38% [5].

Pembangunan jalan terdiri dari beberapa lapisan perkerasan dengan karakteristik, ketebalan, kekuatan, kekakuan, serta kestabilan tertentu. Terdapat dua jenis perkerasan jalan yaitu perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan lentur (*flexible pavement*). perkerasan kaku menggunakan beton untuk menanggung beban struktural. Jenis perkerasan ini biasanya dipilih untuk jalan dengan lalu lintas padat dan beban distribusi yang besar [6]. Sementara itu, perkerasan lentur (*flexible pavement*) menggunakan campuran aspal untuk memikul dan menyebarkan beban lalu lintas. Lapis perkerasan ini berfungsi untuk memikul beban dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar [6]. Konstruksi perkerasan jalan nasional memerlukan bahan baku dalam jumlah besar, dengan agregat mineral mencapai lebih dari 80% untuk beton dan 94%

untuk aspal, menjadikannya penggunaan material yang paling signifikan [7]. Oleh karena itu, penggunaan material ramah lingkungan dapat mengurangi dampak lingkungan, menghemat energi, mengurangi biaya secara keseluruhan, dan meningkatkan sistem sosial.

Material ramah lingkungan atau *green material* memberikan manfaat bagi kesehatan, lingkungan yang bersih, serta dapat mengurangi biaya *life cycle* dan konstruksi [8]. *Green material* merupakan bagian dari konsep pembangunan berkelanjutan sejak 1987, di mana banyak negara, termasuk Indonesia, berkomitmen melaksanakannya [9]. Desain bangunan berkelanjutan tidak hanya berfokus pada pengurangan energi dan emisi GHG, tetapi juga pada penggunaan sumber daya terbarukan dan material yang dapat didaur ulang [10]. Namun, penggunaan bahan ramah lingkungan ini dapat memerlukan biaya lebih tinggi dibandingkan material konvensional, dengan kenaikan biaya rata-rata sebesar 2% hingga 7%. [11]. Namun, penggunaan bahan ramah lingkungan ini dapat memerlukan biaya lebih tinggi dibandingkan material konvensional, dengan kenaikan biaya rata-rata 2% hingga 7%. Penggunaan *green material* mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), agenda pembangunan dunia sejak 2015, yang bertujuan meningkatkan kesejahteraan ekonomi masyarakat secara berkesinambungan, mempertahankan keberlanjutan sosial, menjaga kualitas lingkungan hidup, dan mendorong pembangunan yang inklusif.

Penilaian keberlanjutan perkerasan jalan mencakup aspek lingkungan, ekonomi, sosial, dan teknis [12]. Strategi pemeliharaan berkelanjutan bertujuan untuk mengurangi potensi kerusakan dan meningkatkan kualitas jalan. Perkerasan jalan dalam sektor transportasi merupakan komponen penting dari infrastruktur transportasi, dimana pada dampak lingkungan dan sosial-ekonomi terkait erat dengan pembuatan dan fungsi perkerasan [13]. Sebagai contoh, perkerasan jalan yang berumur panjang memerlukan biaya pemeliharaan secara berkala untuk menjaga fungsinya [13].

Beberapa proyek jalan di Indonesia yang telah mengimplementasikan *green material*, antara lain: jalan tol Cisumdawu (Cileunyi-Sumedang-Dawuan) terjadi kegagalan lereng selama konstruksi, kemudian direhabilitasi dengan menggunakan *geofoam* sebagai pengganti timbunan untuk mengurangi gaya pergerakan tanah [14], jalan raya Setiabudi Bandung menggunakan *geofoam* sebagai alternatif timbunan untuk mengurangi tekanan pada *subgrade* [15]. Penggunaan *green material* seperti *Geofoam EPS* (Extended Polystyrene) bertujuan untuk mengurangi risiko longsor, dengan sifat yang tidak teroksidasi oleh udara, air, ataupun elemen lainnya, serta menghemat waktu dan biaya pengerjaan. Selain itu, pada proyek jalan Semarang-Demak menggunakan bahan daur

ulang aspal yang dicampur dengan semen dalam rehabilitasi jalan. Pemanfaatan material limbah ini dapat menghemat sumber daya alam dan biaya konstruksi sekitar 20% hingga 40%, serta mengurangi konsumsi bahan bakar dan mempercepat pelaksanaan konstruksi sekitar 30% hingga 40% dibandingkan dengan penggunaan material baru [16].

Dikutip dari laman informasi Tuban (2022), Jalan Nasional Pantai Utara (Pantura) di Kabupaten Tuban mengalami kerusakan, tepatnya di sekitar Pasar Tradisional Kecamatan Tambakboyo. Kerusakan semakin parah akibat peningkatan curah hujan selama bulan Januari-Februari 2022. Permasalahan tersebut apabila dilihat dari aspek *sustainability* memerlukan biaya perbaikan yang signifikan bagi pemerintah, karena tidak hanya mencakup material dan tenaga kerja saja, tetapi juga biaya operasional seperti kemacetan lalu lintas dan waktu pengguna jalan. Hal ini juga dijelaskan pada laman radar Tuban bahwa biaya pemeliharaan jalan nasional mengalami peningkatan hingga mencapai 20 miliar. Berdasarkan permasalahan tersebut, didapatkan gap penelitian yang menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah konstruksi masih minim, proses konstruksi jalan menyumbang emisi gas rumah kaca dan penggunaan energi signifikan, serta adopsi material ramah lingkungan terbatas karena biayanya yang lebih tinggi. Selain itu, masih sedikit penelitian mengenai pemilihan material perkerasan jalan nasional. Penelitian ini ditinjau dari sudut pandang pemerintah karena pemerintah memiliki peran utama dalam mengatur dan menetapkan kebijakan terkait pembangunan infrastruktur jalan, termasuk standar lingkungan dan keberlanjutan. Pemerintah juga bertanggung jawab atas pendanaan dan pengaturan proyek infrastruktur berskala besar, serta komitmen untuk memenuhi tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs).

Penelitian ini bertujuan untuk pemilihan material berkelanjutan pada perkerasan konstruksi jalan nasional dengan menggunakan metode analisis deskriptif, serta memberikan referensi bagi pengambil keputusan dan pemangku kepentingan dalam memilih material perkerasan jalan secara berkelanjutan.

2. Metode

Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan model pemilihan material ramah lingkungan (*Green Material*) untuk jalan nasional, dengan mempertimbangkan kriteria, sub kriteria, dan nilai bobot kepentingannya dari sudut pandang pemerintah. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan keberlanjutan proyek jalan nasional terkait pemilihan material ramah lingkungan di negara Indonesia.

2.1 Pengambilan Data

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi dan menganalisis berbagai kriteria yang relevan dalam pemilihan material ramah lingkungan yang digunakan pada proyek jalan nasional, serta menganalisis model pemilihan *green material* yang *sustainable* dapat diterapkan dalam proyek jalan nasional.

Penelitian ini menggunakan studi literatur untuk menentukan kriteria dan subkriteria yang relevan dalam pemilihan material ramah lingkungan pada proyek jalan nasional. Terdapat 14 variabel penelitian yang dikelompokkan ke dalam tiga aspek utama: ekonomi, lingkungan, dan sosial. Variabel penelitian ditunjukkan pada **Tabel 1**. Objek penelitian dilakukan pada proyek jalan nasional Trans Jawa yang mencakup pemilihan material ramah lingkungan perkerasan jalan.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Kode	Kriteria dan Sub Kriteria	Deskripsi
A	Ekonomi	Mencakup tentang biaya pembelian, biaya proses, serta biaya transportasi
A1	Biaya Investasi	Potensi biaya awal yang tinggi karena kualitas desain perkerasan jalan yang lebih baik
A2	Biaya Desain	Potensi biaya desain yang tinggi karena kualitas desain perkerasan jalan yang lebih baik
A3	Material Lokal	Penggunaan material lokal dalam proyek jalan raya tergantung pada lokasi proyek
A4	Efektivitas Biaya	Pembiayaan yang efektif karena kualitas bahan yang baik, sehingga tidak memerlukan biaya lebih untuk pemeliharaan berkala
A5	Umur Perkerasan	Potensi umur perkerasan yang tahan lama untuk menghindari sering terjadinya rehabilitasi jalan, bergantung pada lalu lintas harian rata-rata dan jenis perkerasan yang akan dibangun
B	Lingkungan	Terkait dengan pengelolaan sumber daya alam, penggunaan polusi, konsumsi energi, dan daur ulang untuk pengurangan limbah yang dihasilkan selama proses pembangunan

Kode	Kriteria dan Sub Kriteria	Deskripsi
B1	Manfaat Ekologis	Manfaat positif yang diberikan oleh lingkungan alam pada manusia dan ekosistem secara keseluruhan
B2	Pengelolaan Limbah Material	Menyediakan pengelolaan limbah konstruksi dan demolisi selama konstruksi jalan
B3	Pengaruh terhadap Kualitas Udara	Menggunakan peralatan konstruksi yang mengurangi emisi pencemaran udara
B4	Pengurangan Emisi	Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil
B5	Efisiensi Energi	Penggunaan energi yang optimal dan hemat sumber daya, sehingga mengurangi konsumsi energi yang tidak perlu atau pemborosan energi.
B6	Daur Ulang	Pengurangan, penggunaan kembali, dan daur ulang bahan pengoperasian dan pemeliharaan.
C	Sosial	Mencakup kepentingan sosial yang berkenaan dengan Kenyamanan dan keselamatan pengendara.
C1	Karakteristik Permukaan Jalan	Karakteristik permukaan jalan bergantung pada kehalusan, kekasaran tekstur dan juga defleksi.
C2	Kemudahan Konstruksi	Kemudahan dalam proses pelaksanaan konstruksi
C3	Estetika	Penilaian terhadap aspek keindahan dan daya tarik visual dari pemilihan material

Terdapat 15 tenaga ahli sebagai responden dalam penelitian ini. Penilaian dilakukan dengan menggunakan skala Likert (1-5) untuk mengevaluasi relevansi variabel yang telah diidentifikasi. Skala 1 menunjukkan Sangat Tidak Setuju hingga skala 5 menunjukkan Sangat Setuju [17], yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Berdasarkan tujuan penelitian, sampel penelitian menggunakan *purposive sampling*, dimana responden yang dipilih berasal dari pihak Pekerjaan Umum dan Perumahan Kementerian (PUPR). Dinas PUPR memiliki beberapa bidang salah satunya adalah Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (BBPJN) yang merencanakan, memprogramkan, dan melaksanakan pembangunan jalan. Wilayah BBPJN yang ditinjau

yaitu: BBPJN Jawa Timur-Bali, BBPJN Jawa Tengah-D.I.-Yogyakarta, BBPJN DKI-Jawa Barat. Penelitian ini menggunakan analisis statistik deskriptif untuk pada variabel yang telah diidentifikasi.

Tabel 2. Skala Penilaian Kepentingan Kriteria dan Sub Kriteria

No	Skala Penilaian	Defnisi
1	5	Sangat Setuju , artinya variabel dianggap Sangat Diperlukan
2	4	Setuju , artinya variabel dianggap Diperlukan
3	3	Netral , artinya variabel dianggap Cukup Diperlukan
4	2	Tidak Setuju , artinya variabel dianggap Tidak Diperlukan
5	1	Sangat Tidak Setuju , artinya variabel dianggap Sangat Tidak Diperlukan

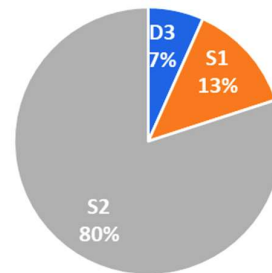
3. Hasil dan Pembahasan

Proyek yang digunakan pada penelitian ini adalah proyek perkerasan jalan yang berada pada daerah Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat. Data yang dianalisis dalam penelitian ini mencakup data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui survei kuesioner yang didistribusikan kepada Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (BBPJN PUPR). Sementara itu, data sekunder diperoleh dari studi literatur komprehensif yang memberikan gambaran mengenai penggunaan *Green Material* dalam pembangunan jalan nasional.

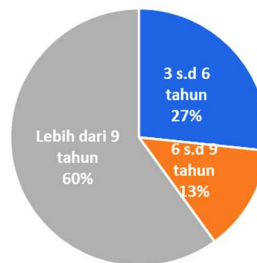
3.1 Data Responden

Penelitian ini menunjukkan persentase tingkat pendidikan responden, di mana 80% responden memiliki gelar magister (S2), 13% memiliki gelar sarjana (S1), dan 7% memiliki gelar ahli madya (D3). Data ini menunjukkan bahwa mayoritas responden memiliki gelar magister, yang menggambarkan bahwa mereka memiliki keterampilan dan pengetahuan yang mendalam dalam bidang proyek konstruksi, khususnya dalam bidang jalan. Persentase pendidikan dari responden penelitian dapat dilihat **Gambar 1**.

Responden penelitian memiliki pengalaman kerja yang bervariasi: 27% memiliki pengalaman kerja selama tiga hingga enam tahun, 13% memiliki pengalaman kerja selama enam hingga sembilan tahun, dan 60% memiliki pengalaman kerja lebih dari sembilan tahun. Persentase pengalaman kerja responden dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Pendidikan Responden



Gambar 2. Pengalaman Kerja Responden

3.2 Identifikasi Kriteria dan Sub Kriteria

Penyebaran kuesioner bertujuan untuk menilai tingkat persetujuan terhadap setiap variabel menggunakan skala Likert 1 (satu) hingga 5 (lima), di mana skala 1 (satu) menunjukkan "sangat tidak setuju" dan skala 5 (lima) menunjukkan "sangat setuju". Metode analisis yang digunakan adalah analisis nilai rata-rata (mean value analysis). Studi ini mengasumsikan bahwa jika nilai rata-rata variabel ≥ 3 , maka variabel tersebut sudah sesuai dengan kondisi di lapangan. Hasil survei kuesioner dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Penilaian Tingkat Persetujuan

Kode	Kriteria dan Sub Kriteria	Nilai Rata-Rata	Keterangan
A	Ekonomi	4,400	Sesuai
A5	Umur Perkerasan	4,400	Sesuai
A1	Biaya Investasi	4,333	Sesuai
A2	Biaya Desain	4,267	Sesuai
A4	Efektivitas Biaya	4,200	Sesuai
A3	Material Lokal	4,133	Sesuai
B	Lingkungan	4,333	Sesuai
B1	Manfaat Ekologis	4,400	Sesuai
B4	Pengurangan Emisi	4,267	Sesuai
B2	Pengelolaan Limbah Material	4,200	Sesuai

Kode	Kriteria dan Sub Kriteria	Nilai Rata-Rata	Keterangan
B3	Pengaruh terhadap Kualitas Udara	4,133	Sesuai
B5	Efisiensi Energi	3,933	Sesuai
B6	Daur Ulang	3,733	Sesuai
C	Sosial	3,600	Sesuai
C2	Kemudahan Konstruksi	4,067	Sesuai
C1	Karakteristik Permukaan Jalan	3,733	Sesuai
C3	Estetika	3,400	Sesuai

Berdasarkan nilai rata-rata yang diperoleh, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3**, semua kriteria dan subkriteria memiliki nilai rata-rata ≥ 3 . Ini menunjukkan bahwa variabel tersebut sudah sesuai dengan kondisi di lapangan. Hasil analisis ini akan digunakan untuk menentukan tingkat prioritas pada setiap kriteria dan sub kriterianya.

3.3 Penentuan Prioritas Kriteria dan Sub Kriteria

Pada tahap ini, peringkat ditentukan berdasarkan hasil survei kuesioner sebelumnya. Penilaian tersebut menggunakan skala Likert 1 (satu) hingga 5 (lima), dengan nilai rata-rata jawaban responden yang menunjukkan tingkat persetujuan terhadap variabel yang dinilai. Rata-rata tertinggi menunjukkan peringkat pada setiap kriteria dan subkriteria.

Berdasarkan **Tabel 3**, hasil analisis telah diurutkan sesuai dengan nilai rata-rata tertinggi. Kriteria ekonomi menempati peringkat pertama dengan nilai rata-rata 4,40; menunjukkan bahwa kriteria ekonomi dianggap sebagai faktor paling penting dalam pengambilan keputusan. Hal ini menekankan pentingnya pertimbangan ekonomi dalam memilih material yang sesuai untuk tujuan keberlanjutan, karena kriteria ekonomi memiliki pengaruh terbesar dalam menentukan keputusan akhir. Oleh karena itu, kriteria ekonomi menempati peringkat pertama dalam pemilihan material ramah lingkungan.

Selanjutnya, peringkat kedua dalam pemilihan material ramah lingkungan adalah kriteria lingkungan dengan nilai rata-rata sebesar 4,33. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pertimbangan ekonomi sangat penting, faktor lingkungan juga memainkan peran penting dalam pengambilan keputusan. Dengan demikian, material yang dipilih tidak hanya ekonomis tetapi juga ramah lingkungan, mendukung tujuan keberlanjutan secara keseluruhan.

Peringkat ketiga dalam pemilihan material ramah lingkungan adalah kriteria sosial dengan nilai rata-rata sebesar 3,60.

Ini menjelaskan pentingnya aspek sosial dalam memastikan bahwa material yang dipilih juga memberikan manfaat bagi kesejahteraan masyarakat.

3.4 Pembahasan

Penerapan material ramah lingkungan dilapangan sering kali disebut sebagai inovasi, yang mengacu pada tambahan bahan untuk campuran *Asphalt Mixing Plant* (AMP). Tujuan dari inovasi ini adalah untuk meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi dalam pembangunan jalan nasional. Aspek yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inovasi ini mencakup dana, ketersediaan bahan, dan kualitas hasil akhir. Dana yang diperlukan untuk menerapkan inovasi ini seharusnya lebih efisien daripada penggunaan material konvensional, jika memungkinkan. Selain itu, kualitas hasil akhir dari penggunaan green material harus memenuhi standar yang ditetapkan untuk memastikan keamanan dan ketahanan jalan.

3.4.1 Kriteria Ekonomi

Aspek pertama dalam penerapan *green material* adalah aspek ekonomi. Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis statistik deskriptif untuk menentukan prioritas aspek ekonomi dalam penerapan green material pada proyek jalan nasional. Hasil analisis menunjukkan bahwa aspek ekonomi menempati peringkat pertama dengan nilai rata-rata sebesar 4,40; mendukung penelitian sebelumnya oleh [12], [13], [17], [18], [19] yang menekankan pentingnya aspek ekonomi dalam keberlanjutan perkerasan.

Aspek ekonomi dalam penerapan green material mencakup berbagai faktor yang harus dipertimbangkan, seperti umur perkerasan, biaya investasi, biaya desain, efektivitas biaya, dan pemanfaatan material lokal. Semua ini bertujuan untuk memastikan keberlanjutan dan efisiensi biaya dalam pengembangan infrastruktur jalan. Subkriteria ekonomi memiliki nilai rata-rata sebesar 4,40; 4,33; 4,27; 4,20; dan 4,13. Umur perkerasan mengacu pada seberapa lama perkerasan jalan berfungsi secara efektif, dipengaruhi oleh desain awal, bahan yang digunakan, dan strategi pemeliharaan [19]. Penggunaan material berkualitas tinggi mungkin menyebabkan biaya awal yang lebih mahal, tetapi menghasilkan penghematan biaya siklus hidup yang signifikan [17], yang merupakan investasi jangka panjang yang menguntungkan.

Biaya desain juga merupakan faktor kunci, karena desain perkerasan yang optimal dapat memperpanjang umur perkerasan dan menekan biaya total selama masa pakainya. Kualitas bahan yang baik mengurangi kebutuhan biaya untuk pemeliharaan berkala, sehingga biaya menjadi lebih efektif [12], [13]. Penggunaan material lokal meningkatkan efisiensi biaya dengan mengurangi biaya transportasi, mendukung

ekonomi lokal, dan mengurangi biaya konstruksi secara signifikan [19].

Dalam wawancara dengan responden, menyampaikan bahwa pemilihan material ramah lingkungan dalam pembangunan jalan nasional dipengaruhi oleh dana yang sepenuhnya berasal dari pemerintah yang biasa disebut dengan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN). Sumber pendanaan ini terbatas pada alokasi pemerintah tanpa kontribusi investor swasta, sehingga sering kali pemilihan material difokuskan pada biaya yang paling murah untuk memastikan proyek dapat diselesaikan sesuai anggaran. Namun, pemilihan material murah harus tetap memperhatikan umur perkerasan agar sesuai dengan standar, serta mempertimbangkan kualitas dan keberlanjutan lingkungan.

3.4.2 Kriteria Lingkungan

Aspek kedua dalam penerapan green material adalah aspek lingkungan, yang menempati peringkat kedua dengan nilai rata-rata sebesar 4,33. Dalam pembangunan proyek infrastruktur, terutama proyek jalan nasional, aspek lingkungan diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat limbah pembangunan. Memilih material berkelanjutan merupakan tujuan utama dalam tahap perencanaan dan menjadi prioritas dalam menerapkan pembangunan berkelanjutan.

Aspek lingkungan dalam penerapan pembangunan jalan nasional mempertimbangkan beberapa faktor penting, yaitu manfaat ekologis, pengurangan emisi, pengelolaan limbah material, pengaruh terhadap kualitas udara, efisiensi energi, dan daur ulang material. Sub-kriteria lingkungan memiliki nilai rata-rata sebesar 4,40; 4,27; 4,20; 4,13; 3,93; dan 3,73.

Penelitian [12] mendukung pentingnya aspek lingkungan dalam mengurangi konsumsi energi dan air selama proses konstruksi. Penekanan pada manfaat ekologis dapat meningkatkan keberlanjutan proyek, menghemat sumber daya, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Optimalisasi penggunaan energi membantu mengurangi pemborosan energi [20]. Selain itu, pengurangan emisi melalui penggunaan peralatan konstruksi yang efisien dan ramah lingkungan dapat menurunkan konsentrasi polutan berbahaya di atmosfer, mengurangi pemanasan global, dan memperbaiki kualitas udara [21], [22].

Dalam pembangunan jalan, pengelolaan limbah konstruksi sangat penting. Pengelolaan yang efektif dapat dilakukan dengan menyediakan sistem pengelolaan limbah konstruksi dan demoliisi sepanjang proses pembangunan [21]. Penggunaan material daur ulang juga dapat mengurangi jumlah limbah yang harus dibuang ke tempat pembuangan akhir,

membantu mengurangi dampak lingkungan dari pembuangan limbah [20].

Wawancara dengan responden menyampaikan bahwa faktor-faktor penting dari aspek lingkungan dalam pembangunan proyek jalan nasional meliputi kualitas udara, emisi, energi, ekologi, limbah material, dan daur ulang. Kualitas udara yang baik diperlukan untuk mencegah masalah kesehatan. Emisi dari bahan bakar fosil perlu dikurangi karena kontribusinya terhadap perubahan iklim. Optimalisasi penggunaan energi mendukung efisiensi dan menghindari pemborosan. Perlindungan ekologi penting untuk menjaga keanekaragaman hayati dan ekosistem. Pengelolaan limbah material harus dilakukan dengan baik untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan praktik daur ulang harus diterapkan untuk mendukung keberlanjutan sumber daya.

3.4.3 Kriteria Sosial

Penerapan green material dalam perkerasan jalan mempertimbangkan aspek sosial seperti karakteristik permukaan jalan, kemudahan konstruksi, dan estetika. Faktor-faktor sosial ini merupakan parameter penting yang meningkatkan kompleksitas keberlanjutan perkerasan dan berkontribusi pada kesejahteraan komunitas. Kriteria sosial mempengaruhi pemilihan material bangunan yang berkelanjutan dan dampak sosial keseluruhan dari proyek konstruksi.

Karakteristik permukaan jalan, termasuk kehalusan, kekasaran tekstur, dan defleksi, menentukan performa dan kenyamanan pengguna jalan [13]. Kemudahan dalam proses pelaksanaan material diperlukan untuk efisiensi konstruksi [23]. Estetika dan daya tarik visual material juga penting untuk menciptakan lingkungan yang menarik bagi masyarakat [24]. Berdasarkan hasil survei kuesioner, kriteria sosial berada pada peringkat ketiga dengan nilai rata-rata sebesar 3,60, yang mencakup kemudahan konstruksi dengan nilai rata-rata sebesar 4,07; karakteristik permukaan jalan dengan nilai rata-rata sebesar 3,73, dan estetika dengan nilai rata-rata sebesar 3,40.

Hasil wawancara menunjukkan bahwa dalam pembangunan jalan nasional, koordinasi dengan pihak lalu lintas sangat penting untuk menghindari kemacetan. Material ramah lingkungan menunjukkan kualitas dan performa yang setara dengan material konvensional, serta kemudahan dalam konstruksi.

4. Simpulan

Penelitian ini dapat memberikan manfaat teoritis dalam menentukan kriteria green material pada infrastruktur, khususnya jalan nasional. Penelitian ini memperhatikan aspek

berkelanjutan (sustainability), sehingga dapat membantu dalam pengembangan material yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk konstruksi jalan. Selain itu, manfaat praktis dari penelitian ini dapat membantu pengambilan keputusan dalam memilih material ramah lingkungan (green material) yang tepat untuk proyek jalan nasional. Berdasarkan hasil identifikasi, terdapat 14 variabel yang diklasifikasikan menjadi tiga kriteria utama: ekonomi, lingkungan, dan sosial. Kriteria ekonomi mencakup umur perkerasan, biaya investasi, penggunaan material lokal, efisiensi biaya, dan biaya desain. Kriteria lingkungan mencakup manfaat ekologis, pengelolaan limbah material, pengurangan pada emisi, dampak terhadap kualitas udara, efisiensi energi yang digunakan, dan daur ulang. Sementara itu, kriteria sosial mencakup kemudahan konstruksi dan karakteristik permukaan jalan.

Hasil analisis menggunakan metode statistik deskriptif menunjukkan bahwa aspek ekonomi mendominasi sebagai prioritas utama dalam pemilihan *green material* untuk pembangunan berkelanjutan, dengan nilai rata-rata 4,40. Aspek ini diikuti oleh aspek lingkungan dengan nilai rata-rata 4,33, dan aspek sosial dengan nilai rata-rata 3,60.

Penelitian ini hanya mengambil sudut pandang dari pemerintah, oleh karena itu penelitian selanjutnya diharapkan dapat mempertimbangkan perspektif terhadap stakeholder lainnya. Hal ini penting untuk meningkatkan ketepatan pengambilan keputusan dalam implementasi green material pada proyek konstruksi. Selain itu, penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk mengeksplorasi potensi material ramah lingkungan lainnya yang dapat diterapkan dalam proyek konstruksi. Aspek yang dapat dieksplorasi termasuk analisis biaya, kinerja jangka panjang, dan dampak pada lingkungan secara lebih detail dan mendalam.

Daftar Pustaka

- [1] F. Romadhon and A. K. Garside, "Aplikasi Perkerasan Jalan Raya Berkelanjutan Dengan Pemanfaatan Daur Ulang Agregat Beton: Tinjauan Literatur," in Seminar Keinsinyuran Program Studi Program Profesi Insinyur, Kediri, 2021, pp. 606–617. doi: 10.22219/skps-ppi.v2i1.4361.
- [2] U. Khasanah, N. Nugraha, and W. Kokotiasa, "Dampak Pembangunan Jalan Tol Solo-Kertosono terhadap Hak Ekonomi Masyarakat Desa Kasreman Kecamatan Geneng Kabupaten Ngawi," *Citizenship Jurnal Pancasila dan Kewarganegaraan*, vol. 3, no. 1, pp. 108–120, 2017, doi: 10.25273/citizenship.v5i2.1-644.
- [3] A. U. Din, J. Ming, I. U. Rahman, H. Han, S. Yoo, and R. R. Alhrahshah, "Green Road Transportation Management and Environmental Sustainability: The Impact of Population Density," *Heliyon*, vol. 9, pp. 2405–8440, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19771.
- [4] S. Luo and P. Yang, "Design and evaluation of a sustainable entropy-weighted and VIKOR-based method for offshore oil collecting," *Heliyon*, vol. 9, no. 11, p. e21256, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e21256.
- [5] P. Múčka, "International Roughness Index Specifications around the World," *Road Materials and Pavement Design*, 2017, doi: 10.1080/14680629.2016.1197144.
- [6] M. V. Mohod and Dr. K. N. Kadam, "A Comparative study on rigid and flexible magnetoelectric composites: Review," *J Adv Dielectr*, vol. 13, no. 3, pp. 84–88, 2023, doi: 10.1142/S2010135X23400015.
- [7] J. Li, F. Xiao, L. Zhang, and S. N. Amirkhanian, "Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Analysis of Recycled Solid Waste Materials in Highway Pavement: A Review," *J Clean Prod*, vol. 233, pp. 1182–1206, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.061.
- [8] K. Chakravarthy, P. R. R. Suganya, M. Nivedhitha, A. Parthiban, and S. Sivaganesan, "Barriers and Project Management Practices in Green Buildings," *Mater Today Proc*, vol. 52, pp. 1131–1134, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.007.
- [9] G. L. G. B. S. S. Gunarta, *Jalan Hijau Indonesia [Indonesia Green Road]*, no. August 2021. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, 2014.
- [10] D. Streimikiene, V. Skulskis, T. Balezentis, and G. P. Agnusdei, "Uncertain Multi-Criteria Sustainability Assessment of Green Building Insulation Materials," *Energy Build*, vol. 219, p. 110021, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110021.
- [11] J. Shurrab, M. Hussain, and M. Khan, "Green and Sustainable Practices in the Construction Industry: A Confirmatory Factor Analysis Approach," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 26, no. 6, pp. 1063–1086, 2019, doi: 10.1108/ECAM-02-2018-0056.
- [12] R. Szpotowicz and C. Tóth, "Revision of Sustainable Road Rating Systems: Selection of the Best Suited System for Hungarian Road Construction using Topsis Method," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, pp. 1–28, 2020, doi: 10.3390/su12218884.

- [13] C. Plati, "Sustainability Factors in Pavement Materials, Design, and Preservation Strategies: A Literature Review," *Constr Build Mater*, vol. 211, pp. 539–555, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.242.
- [14] P. P. Rahardjo, B. W. Anggoro, M. Wijaya, and D. P. Seourin, "EPS-Geofoam as Lightweight material for Replacement of Embankment Fill to Overcome Landslide Problems at STA 40+200 of Cismudawu Toll Road, West Java," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 1249, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1249/1/012001.
- [15] A. S. Lestari and J. Clementio, "Efek EPS Geofoam sebagai Material Pengisi terhadap Nilai CBR Laboratorium pada Tanah Kohesif Daerah Bandung," *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGC* 2018, vol. xx, 2018.
- [16] P. Pratikso, A. Purwanto, and S. Sudarno, "Analysis influence of cement of the asphalt pavement demolition material on roads Semarang-Demak-Indonesia," *Journal of Urban and Environmental Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 73–78, 2017, doi: 10.4090/juee.2017.v11n1.073078.
- [17] M. Bujang, M. R. Hainin, M. Z. Abd Majid, M. K. Idham Mohd Satar, and W. N. A. W. Azahar, "Assessment Framework for Pavement Material and Technology Elements in Green Highway Index," *J Clean Prod*, vol. 174, pp. 1240–1246, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.002.
- [18] C. Torres-Machi, F. Nasir, J. Achebe, R. Saari, and S. L. Tighe, "Sustainability Evaluation of Pavement Technologies through Multicriteria Decision Techniques," *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 25, no. 3, pp. 1–10, 2019, doi: 10.1061/(asce)is.1943-555x.0000504.
- [19] S. H. Yang, J. Y. H. Liu, and N. H. Tran, "Multi-Criteria Life Cycle Approach to Develop Weighting of Sustainability Indicators for Pavement," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 7, 2018, doi: 10.3390/su10072325.
- [20] A. H. Ibrahim and M. A. Shaker, "Sustainability Index for Highway Construction Projects," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 58, no. 4, pp. 1399–1411, 2019, doi: 10.1016/j.aej.2019.11.011.
- [21] R. R. R. M. Rooshdi, N. A. Rahman, N. Z. U. Baki, M. Z. A. Majid, and F. Ismail, "An Evaluation of Sustainable Design and Construction Criteria for Green Highway," *Procedia Environ Sci*, vol. 20, pp. 180186, 2014, doi: 10.1016/j.proenv.2014.03.024.
- [22] S. AlKheder, D. AlKandari, and S. AlYatama, "Sustainable Assessment Criteria for Airport Runway Material Selection: A Fuzzy Analytical Hierarchy Approach," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no. 8, pp. 3091–3113, 2022, doi: 10.1108/ECAM-01-2021-0052.
- [23] E. A. Al-Atesh, Y. Rahmawati, N. A. W. A. Zawawi, and C. Utomo, "A Decision-Making Model for Supporting Selection of Green Supporting Selection of Green," *International Journal of Construction Management*, vol. 23, no. 5, pp. 922–933, 2021, doi: 10.1080/15623599.2021.1944548.
- [24] P. O. Akadiri, P. O. Olomolaiye, and E. A. Chinyio, "Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects," *Autom Constr*, vol. 30, pp. 113–125, 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2012.10.004.