

## Framework Penilaian Infrastruktur Jalan Berkelanjutan di Indonesia

Bagus Radham Hidayat<sup>1,\*</sup>, Moh Arif Rohman<sup>1</sup>

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [bagusradhamhidayat@gmail.com](mailto:bagusradhamhidayat@gmail.com)

Info Artikel		Abstract
Diajukan	13 Februari 2024	<i>The sustainability of road infrastructure to determine its level of sustainability requires an assement evaluation. This research aims to obtain variables and design a framework for assessing the sustainability of road infrastructure. This framework was obtained through continuous criteria selection from theoretical studies and expert discussions, then processed using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. The assessment model was tested using the Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE) method. Based on the Framework analysis, the assessment of road sustainability in Indonesia includes Social Sustainability with sub-criteria, namely safety and security, equal access, views and cleanliness, operational support, adequate services, adequate facilities, smooth traffic, connecting roads, and peace of mind. Economic Sustainability with sub-criteria, namely improving the economy, providing for unexpected costs, innovative financing, guarantees and cost efficiency. Environmental Sustainability with sub-criteria, namely waste management, environmental conservation, energy efficiency and water management. Sustainability Management with sub-criteria, namely sustainable project management, sustainable risk management, and sustainable procurement.</i>
Diperbaiki	29 Juli 2024	
Disetujui	29 Juli 2024	

*Keywords: Road Infrastructure's Sustainability, AHP, FCE, Framework*

### Abstrak

Keberlanjutan infrastruktur jalan perlu penilaian sebagai bentuk evaluasi, sehingga diketahui tingkat keberlanjutannya. Penelitian ini bertujuan memperoleh variabel dan merancang *Framework* penilaian keberlanjutan infrastruktur jalan. *Framework* ini didapatkan melalui seleksi kriteria berkelanjutan dari kajian teori dan diskusi pakar, kemudian diolah dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Model penilaian diuji menggunakan metode *Fuzzy Comprehensive Evaluation* (FCE). Berdasarkan analisis *Framework*, penilaian keberlanjutan jalan di Indonesia meliputi Keberlanjutan Sosial dengan subkriteria yaitu keselamatan dan keamanan, akses setara, pemandangan dan kebersihan, penunjang operasional, pelayanan memadai, fasilitas memadai, lalu lintas lancar, jalan penghubung, dan ketenangan pikiran. Keberlanjutan Ekonomi dengan subkriteria yaitu Meningkatkan ekonomi, penyediaan biaya tak terduga, pembiayaan inovatif, jaminan, dan efisiensi biaya. Keberlanjutan Lingkungan dengan subkriteria yaitu pengelolaan limbah, konservasi lingkungan, efisiensi energi, dan manajemen air. Keberlanjutan Manajemen dengan subkriteria yaitu manajemen proyek berkelanjutan, manajemen risiko berkelanjutan, dan pengadaan berkelanjutan.

Kata kunci: Infrastruktur Jalan Berkelanjutan, AHP, FCE, *Framework*

### 1. Pendahuluan

Pemerintah Indonesia melakukan percepatan peningkatan konektivitas jalan daerah untuk mendorong ekonomi, menurunkan biaya logistik, dan meratakan kondisi jalan, sesuai Instruksi Presiden Nomor 3 Tahun 2023 [1]. Ini mendukung Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020-2024. Namun, pertumbuhan panjang jalan bisa meningkatkan penggunaan sumber daya, kecelakaan, dan biaya operasional [1]. Pembangunan jalan berdampak negatif pada lingkungan. Para ahli khawatir dan mencari ide untuk memenuhi kebutuhan saat ini sambil meminimalkan masalah bagi generasi mendatang [2]. Dalam meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan serta meningkatkan kesejahteraan sosial dan ekonomi, pembangunan infrastruktur jalan telah mengadopsi konsep keberlanjutan untuk menaikkan kemakmuran rakyat

(ekonomi) dengan memperhatikan penggunaan sumber daya alam secara arif dengan teknologi canggih yang kemudian meminimalkan kerusakan lingkungan [1], [2].

Infrastruktur jalan berkelanjutan adalah merancang, membangun, mengoperasikan, mengurus, dan mendekonstruksi jalan dengan memperhatikan keberlanjutan, untuk memenuhi kebutuhan mobilitas saat ini tanpa mengorbankan kebutuhan generasi mendatang [3]. Aspek-aspek tersebut adalah keberlanjutan lingkungan, keberlanjutan ekonomi, dan keberlanjutan sosial. Aspek keberlanjutan lingkungan hal yang terkait dampak negatif terhadap lingkungan, aspek keberlanjutan ekonomi terkait pertumbuhan ekonomi tanpa mengorbankan kebutuhan manusia, dan aspek keberlanjutan sosial terkait kewajiban hukum, moral, dan etika dalam bersosialisasi antara hubungan manusia [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kriteria keberlanjutan infrastruktur jalan yang relevan dengan kondisi di Indonesia, menyusun model penilaian infrastruktur jalan, menentukan bobot dari setiap kriteria dalam model tersebut, dan menunjukkan kondisi keberlanjutan jalan yang diharapkan oleh *stakeholder* yang terlibat.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) yang menggabungkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan untuk memecah permasalahan dengan multi-faktor dan multi-kriteria yang terkandung pada metode AHP kemudian dilanjutkan dengan metode *Fuzzy Comprehensive Evaluation* (FCE) untuk menutupi kelemahan permasalahan terhadap kriteria yang lebih bersifat personal. Penilaian keberlanjutan jalan didasarkan pada harapan dan kenyataan pengelola. Teori kepuasan menunjukkan ketidakpuasan muncul jika infrastruktur tidak memenuhi harapan. Responden penelitian terdiri dari pegawai pengelola jalan, konsultan, dan kontraktor yang terlibat dalam proyek peningkatan kapasitas jalan [4]. Survei terdiri dari dua tahap: tahap pendahuluan dengan pakar akademisi dan praktisi keberlanjutan jalan, dan tahap utama dengan pegawai pemerintah, konsultan, serta kontraktor proyek jalan. Hasil survei pakar divalidasi dengan nilai rata-rata untuk memastikan konsistensi pendapat.

Metode penelitian ini lebih komprehensif dan memberikan gambaran yang lebih jelas maka perlu dilakukan pendetilan pada beberapa hal yang meliputi:

### 1. Menentukan Objek Penelitian

Praktik keberlanjutan dapat diterapkan pada berbagai infrastruktur, seperti rumah susun, energi, air, pariwisata, dan jalan. Penelitian ini fokus pada jalan karena merupakan representasi pembangunan di Indonesia dan termasuk bagian dari Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional [1]. Pembangunan jalan berdampak pada lingkungan, sosial, dan ekonomi, termasuk peningkatan penggunaan sumber daya, tingginya angka kecelakaan, dan biaya operasional jalan. [1].

### 2. Menentukan Variabel Penelitian

Infrastruktur jalan berkelanjutan tidak hanya menarik para praktisi melainkan juga para akademisi [5]. Selama dua dekade terakhir, minat peneliti pada keberlanjutan infrastruktur jalan meningkat, terbukti dari pertumbuhan jumlah publikasi di jurnal [6]. Meski penelitian keberlanjutan jalan meningkat, belum ada studi yang menyusun kriteria holistik untuk praktik penerapan keberlanjutan infrastruktur jalan [7]. Misalnya, beberapa penelitian sebelumnya hanya berfokus pada hambatan penerapan keberlanjutan infrastruktur jalan di negara tertentu dan beberapa upaya penerapan keberlanjutan

dilakukan untuk menyediakan model penilaian keberlanjutan suatu proyek [8]. Namun, penelitian hanya fokus pada aspek lingkungan saja. Padahal ketiga aspek lainnya yaitu sosial, ekonomi, dan lingkungan perlu diperhatikan untuk mencapai keberlanjutan yang maksimal [7].

Keberlanjutan infrastruktur jalan mencakup konstruksi dan operasional, karena keduanya saling mempengaruhi [9]. Aspek manajemen melengkapi tiga aspek ekonomi, aspek sosial, dan aspek lingkungan untuk mendefinisikan kriteria-kriteria proyek berkelanjutan dengan lebih jelas [7],[8],[10]. Oleh karena itu, manajemen digunakan untuk menilai keberlanjutan dari inisiasi hingga pelaksanaan proyek [3],[10]. Variabel Penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Variabel Penelitian

Kode	Kriteria dan Sub Kriteria	Sumber
KL	Keberlanjutan Lingkungan	
KL1	Penggunaan Kembali Bahan Limbah sebagai Bahan Baku Sekunder.	[5],[11],[12]
KL2	Konservasi Lingkungan di Sekitar Jalan.	[5],[9],[10],[13]
KL3	Efisiensi Energi.	[5],[10],[12]
KL4	Manajemen Air Hujan.	[10],[12],[13]
KS	Keberlanjutan Sosial	
KS1	Keselamatan Pengguna Jalan.	[5],[13]
KS2	Keamanan Pengguna Jalan.	[5]
KS3	Akses yang Setara.	[5],[9],[13]
KS4	Memberikan Pemandangan dan Kebersihan Jalan.	[5],[9],[13]
KS5	Memberikan Penunjang Operasional Jalan.	[5],[13]
KS6	Menyediakan Pelayanan yang Memadai.	[5],[14]
KS7	Memberikan Fasilitas Umum yang Aman.	[5],[14]
KS8	Lalu Lintas Lancar di Sepanjang Jalan dan Jalan Penghubung.	[12],[14]
KS9	Memberikan Ketenangan Pikiran.	[5],[14]
KS10	Sarana Partisipasi	[5],[10],[13],[14]
KE	Keberlanjutan Ekonomi	
KE1	Meningkatkan Ekonomi Lokal	[5],[9],[10]
KE2	Meningkatkan Ekonomi Regional.	[10],[13]
KE3	Penyediaan Biaya Tidak Terduga.	[5],[9]
KE4	Mendukung Pembiayaan yang Inovatif.	[5],[9]
KE5	Jaminan Kualitas Pekerjaan Jalan.	[12]
KE6	Menghemat biaya perawatan.	[12]
KM	Keberlanjutan Manajemen	
KM1	Manajemen proyek berkelanjutan	[5],[9],[10]
KM2	manajemen risiko keberlanjutan	[5],[9],[10]
KM3	pengadaan berkelanjutan	[5],[9],[10]
KM4	Mengurangi Perselisihan Pemanfaatan Jalan	[12]

### 3. Menentukan Responden Penelitian

Responden penelitian berasal dari pihak tertentu yang menangani ruas jalan yang dijadikan objek penelitian. Kriteria responden yang menjadi pertimbangan yaitu memiliki pengalaman bekerja pada salah satu proyek jalan di Indo-

nesia. Responden dalam penelitian berjumlah 67 orang dengan rincian: pihak pengelola jalan 44 orang dipilih karena merupakan *stakeholder* yang bertugas dalam menyusun program penanganan jalan, konsultan 9 orang dipilih karena merupakan *stakeholder* perencanaan sampai dengan pengawasan pelaksanaan pekerjaan konstruksi sesuai dengan ketentuan kontrak sebagaimana tugas yang dilimpahkan oleh penanggung jawab pengelola jalan, dan kontraktor 14 orang dipilih karena dianggap sebagai responden yang mengerjakan tahapan-tahapan pembangunan konstruksi jalan melalui lelang yang diselenggarakan oleh penanggung jawab pengelola jalan. Oleh karena itu, pemilihan tiga *stakeholder* sebagai *Expert Judgement* dianggap memiliki pengetahuan dan penguasaan terhadap jalan yang ada di lapangan. Karena hasil dari olahan data yang diperoleh dari responden sangat menentukan keakuratan hasil penelitian.

4. Menentukan Teknik Pengambilan Data

Tahap awal penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur pada topik yang berkaitan dengan keberlanjutan infrastruktur jalan. Studi literatur ini dilakukan untuk mengidentifikasi kriteria yang perlu diperhatikan dalam menilai keberlanjutan infrastruktur jalan.

Setelah kriteria teridentifikasi dilanjutkan dengan survei kuesioner pendahuluan yang bertujuan untuk mengetahui relevansi masing-masing kriteria yang sesuai dengan kondisi di Indonesia dengan menggunakan *Skala Likert* yang dimulai dari angka 1 tidak relevan hingga angka 5 sangat relevan. *Skala Likert* adalah suatu skala yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat persetujuan responden terhadap suatu variabel [15],[14]. Detil deskripsi *Skala Likert* ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2. Skala Likert [15]**

Skala Likert	Definisi
1	Tidak relevan, dianggap variabel sangat tidak sesuai
2	Sedikit relevan, dianggap variabel tidak sesuai
3	Cukup relevan, dianggap variabel cukup sesuai
4	Relevan, dianggap variabel sesuai
5	Sangat relevan, dianggap variabel sangat sesuai

Setelah kriteria relevan diidentifikasi, survei kuesioner utama *Analytical Hierarchy Process* (AHP) menggunakan *Skala Likert* untuk menentukan bobot kriteria berdasarkan kondisi di Indonesia. *Skala Likert* adalah suatu skala yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat persetujuan responden terhadap suatu variabel yang diketahui [15],[14]. Detail deskripsi *Skala Likert* ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Setelah bobot kriteria AHP ditetapkan kemudian akan dilanjutkan dengan kuesioner *Fuzzy Comprehensive Evaluation* (FCE) menggunakan *Skala Likert* untuk menilai persepsi

target dan kenyataan keberlanjutan jalan berdasarkan harapan dan pengalaman yang dirasakan oleh pihak *stakeholder* jalan [16],[15],[14]. Detil deskripsi *Skala Likert* ditunjukkan pada **Tabel 4**.

**Tabel 3. Skala Likert AHP**

Skala Tingkat Kepentingan	Definisi	Keterangan
1	Sama pentingnya	Kedua elemen mempunyai pengaruh yang sama.
3	Sedikit lebih penting	Pengalaman dan penilaian sedikit lebih baik satu elemen dibandingkan dengan pasangannya.
5	Lebih penting	Pengalaman dan penilaian sangat lebih baik satu elemen dibandingkan dengan pasangannya.
7	Sangat penting	Satu elemen sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata dibandingkan dengan pasangannya.
9	Mutlak lebih penting	Satu elemen terbukti mutlak lebih disukai dibandingkan dengan pasangannya, pada tingkat keyakinan yang tertinggi
2, 4, 6, 8	Nilai tengah	Diberikan jika terdapat keraguan penilaian antara dua penilaian yang berdekatan.

**Tabel 4. Skala Likert FCE**

Nilai	Harapan	Realita di Lapangan
1	Sangat rendah	Sangat buruk
2	Rendah	Buruk
3	Sedang	Sedang
4	Tinggi	Baik
5	Sangat Tinggi	Sangat Baik

1. Menentukan Teknik Analisis Data

Data hasil pengisian kuisisioner yang telah didistribusikan kepada responden berupa penilaian terhadap setiap variabel. Data kuisisioner dinilai dengan *Skala Likert* dan dianalisis menggunakan metode *Mean Score*. Metode ini menunjukkan relevansi variabel dan mengeliminasi variabel dengan nilai kurang dari 3 [15],[14]. *Mean score* dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$S = \frac{z_1+z_2+...+z_n}{N} \tag{1}$$

Dimana:

N = Jumlah Responden

$z_1$  sd  $z_n$  = Nilai yang diberikan oleh responden disetiap masing-masing variabel dengan menggunakan *skala likert*

Setelah menghitung *Mean Score*, dilakukan perhitungan standar deviasi untuk mengukur variasi data. Standar deviasi rendah berarti data mendekati rata-rata, sementara standar deviasi tinggi menunjukkan data jauh dari rata-rata. Standar deviasi dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Data kuesioner utama AHP dianalisis untuk membandingkan keberlanjutan jalan di Indonesia dengan kriteria yang ada [17]. Hasil kuesioner AHP memberikan bobot yang diperlukan untuk penilaian selanjutnya dengan kuesioner FCE [17],[16]. Perhitungan bobot masing-masing kriteria keberlanjutan jalan dengan mempergunakan persamaan (3).

$$G = (z_1 \times z_2 \times z_3 \times \dots \times z_n)^{1/n} \quad (3)$$

Setelah menghitung bobot variabel, konsistensi matriks dihitung menggunakan nilai dari *Eigen Vector* [17],[18],[19]. Untuk perhitungan dengan metode AHP nilai *Eigen Vector* yang didapatkan yaitu  $\lambda_{maks}$ . Nilai  $\lambda_{maks}$  didapatkan melalui yaitu dengan membagi kedua nilai  $\sum_{baris}$  dengan total nilai  $\sum_{baris}$ . Kemudian didapat nilai rata-rata dari nilai konsistensi [18],[19]. Perhitungan konsistensi didapat dari persamaan (4), (5), dan (6).

$$\lambda_{maks} = \frac{\lambda_{maks} z_1 + \dots + \lambda_{maks} z_n}{n} \quad (4)$$

Dimana:

$\lambda_{maks}$  = nilai rata-rata dari nilai konsistensi

n = jumlah kriteria

Menghitung *Consistency Index* (CI)

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n-1} \quad (5)$$

Dimana:

CI = nilai *Consistency Index*

$\lambda_{maks}$  = nilai rata-rata dari nilai konsistensi

n = jumlah kriteria

Menentukan nilai dari *Consistency Ratio*

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

Dimana:

CR = nilai *Consistency Ratio*

CI = nilai *Consistency Index*

RI = nilai *Random Index*

Setelah didapatkan nilai bobot tingkat kepentingan dari kriteria yang telah dibuat AHPnya kemudian dilanjutkan menggunakan FCE dengan menganalisa *membership function*. Perhitungan *membership function* didapat dari persamaan (7).

$$B = M \cdot P = \{M_k, M_{ks}, M_{ke}, M_{km}\} \begin{bmatrix} p_{k11} & p_{k12} & \dots & p_{k15} \\ p_{ks1} & p_{ks2} & \dots & p_{ks5} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{n5} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$= \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5\}$$

Dimana:

B = Penilaian Keberlanjutan Jalan

M = bobot faktor evaluasi variabel

$M_k$  = bobot faktor evaluasi variabel lingkungan

$M_{ks}$  = bobot faktor evaluasi variabel sosial

$M_{ke}$  = bobot faktor evaluasi variabel ekonomi

$M_{km}$  = bobot faktor evaluasi variabel manajemen

$p_{k11}$  s.d  $p_{n5}$  = bobot penilaian dari masing-masing atribut variabel

$b_1$  = representasi tingkat persepsi sangat rendah dikeseluruhan atribut keberlanjutan jalan

$b_2$  = representasi tingkat persepsi rendah di keseluruhan atribut keberlanjutan jalan

$b_3$  = representasi tingkat persepsi sedang di keseluruhan atribut keberlanjutan jalan

$b_4$  = representasi tingkat persepsi tinggi di keseluruhan atribut keberlanjutan jalan

$b_5$  = representasi tingkat persepsi sangat tinggi dikeseluruhan atribut keberlanjutan jalan

### 3. Hasil dan Pembahasan

Survei kuesioner digunakan untuk membahas kriteria keberlanjutan jalan di Indonesia, dengan merujuk pada literatur dan memberikan gambaran yang meliputi:

#### 1. Deskripsi Data Survei

Hasil diperoleh dari dua tahap: survei pendahuluan untuk memvalidasi variabel keberlanjutan melalui kuesioner dan wawancara, serta penyusunan kuesioner survei utama untuk metode AHP dan FCE. Survei ini melibatkan kuesioner yang diisi oleh ahli keberlanjutan jalan dari kalangan akademisi dengan pengalaman di proyek jalan. Profil responden dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Informasi Responden Pakar

Responden	Instansi	Tingkat Pendidikan	Golongan Umur	Lama Keterlibatan Pada Pembangunan Infrastruktur Jalan
Pakar 1	Akademisi	(S3) Doktor	41-50 Tahun	5-10 Tahun
Pakar 2	Akademisi	(S3) Doktor	> 50 Tahun	> 20 Tahun
Pakar 3	Akademisi	(S3) Doktor	> 50 Tahun	> 20 Tahun

Responden survei utama FCE terdiri dari Kepala Satuan Kerja (KASATKER), Pejabat Pembuat Komitmen (PPK), staf ahli, dan konsultan (perencana, pengawasan, manajemen konstruksi), serta kontraktor jalan. Mereka dipilih karena pengetahuan mendalam tentang kondisi jalan dari perencanaan hingga konstruksi. Responden adalah 67 orang, rinciannya dapat dilihat di **Tabel 5**.

#### 2. Analisis Data

Data dari kuisisioner yang didistribusikan kepada responden berisi penilaian terhadap variabel menggunakan *skala likert*. Pada survei pendahuluan, nilai rata-rata (*mean score*)

dari penilaian tersebut dianalisis. Variabel dianggap relevan dalam penelitian jika nilai rata-ratanya  $\geq 3$ . Hasil rekap dari kuisioner pendahuluan dapat dilihat pada **Tabel 6**.

**Tabel 5.** Informasi Responden Umum

Kategori	Klasifikasi	Presentase
Golongan Umur	20 – 30 Tahun	6 %
	31 – 40 Tahun	43 %
	41 – 50 Tahun	48 %
	> 50 Tahun	3 %
Tingkat Pendidikan	(D3) Ahli Madya	10 %
	(S1/D4) Sarjana	75 %
	(S2) Magister	15 %
	(S3) Doktor	0
Pengalaman Kerja	< 5 Tahun	13 %
	6 – 10 Tahun	36 %
	11 – 15 Tahun	46 %
	> 20 Tahun	5 %

**Tabel 6.** Hasil Rekap Variabel yang Relevan dengan Kondisi di Indonesia

Kode	Mean Score	Std. Deviasi	Keterangan
KL1	3.67	1.15	Relevan
KL2	3.67	1.15	Relevan
KL3	4.00	1.00	Relevan
KL4	3.67	0.58	Relevan
KS1	4.33	1.15	Relevan
KS2	4.33	1.15	Relevan
KS3	4.33	1.15	Relevan
KS4	4.00	1.00	Relevan
KS5	3.33	1.15	Relevan
KS6	4.00	0.00	Relevan
KS7	4.00	1.00	Relevan
KS8	4.00	1.00	Relevan
KS9	4.00	1.00	Relevan
KS10	2.33	0.58	Tidak Relevan
KE1	3.33	0.58	Relevan
KE2	3.00	1.00	Relevan
KE3	3.33	0.58	Relevan
KE4	3.00	1.73	Relevan
KE5	4.00	1.00	Relevan
KE6	4.00	0.00	Relevan
KM1	4.00	0.00	Relevan
KM2	4.00	0.00	Relevan
KM3	3.33	0.58	Relevan
KM4	2.67	0.58	Tidak Relevan

Dari 24 variabel keberlanjutan jalan, dua tidak relevan dengan kondisi di Indonesia yaitu sarana partisipasi (KS10) dan mengurangi perselisihan antar pemanfaatan jalan (KM4). Sarana partisipasi tidak relevan karena kualitas konstruksi lebih berpengaruh, dan perselisihan antara pemanfaatan jalan lebih baik ditangani dengan upaya hukum yang tegas dan dibuatkan regulasi yang jelas dari pada mempengaruhi upaya keberlanjutan jalan.

Pada Survey Utama AHP, untuk mengukur konsistensi matriks yang diperoleh, dilakukan perhitungan nilai *Eigen Vector*. Nilai *Eigen Vector* ( $\lambda$ Max) diperoleh dari rata-rata hasil perkalian matriks berpasangan (*Pair Wised Matrix*)

seperti pada rumus Persamaan 4. Uji konsistensi ini memperhitungkan Indeks Konsistensi (CI) dengan rumus Persamaan 5, dan Rasio Konsistensi (CR) dengan Persamaan 6, di mana CR harus  $< 0.1$ . Hasil uji konsistensi dari kuisioner utama AHP dapat dilihat pada **Tabel 7**.

**Tabel 7.** Hasil Konsistensi Data dari kuisioner Utama AHP.

Variabel	$\lambda$ Max	CI	RI	CR < 0.1	Keterangan
Lingkungan	4.18	0.06	0.90	0.07	Konsisten
Sosial	9.86	0.11	1.45	0.07	Konsisten
Ekonomi	6.44	0.09	1.24	0.07	Konsisten
Manajemen	3.07	0.09	1.24	0.07	Konsisten

Hasil pembobotan kriteria menentukan bobot akhir dari setiap kriteria berdasarkan penilaian responden. Matriks perbandingan berpasangan digunakan untuk menghitung nilai *Eigen Vector*, yang menetapkan bobot dan prioritas kriteria. Hasil ini terdapat dalam kuisioner utama metode AHP dan dapat dilihat pada **Tabel 8**.

**Tabel 8.** Hasil Bobot Kriteria Keberlanjutan Jalan di Indonesia

Kode	Peringkat	<i>Eigen Vector</i>	Bobot Ternormalisasi
KL1	4	0.170	0.035
KL2	3	0.219	0.045
KL3	1	0.322	0.067
KL4	2	0.289	0.060
KS1	9	0.039	0.012
KS2	3	0.130	0.039
KS3	7	0.093	0.028
KS4	8	0.067	0.020
KS5	6	0.104	0.031
KS6	5	0.111	0.033
KS7	4	0.129	0.038
KS8	1	0.170	0.051
KS9	2	0.157	0.047
KE1	6	0.084	0.024
KE2	3	0.208	0.060
KE3	1	0.266	0.077
KE4	5	0.099	0.029
KE5	2	0.238	0.069
KE6	4	0.106	0.031
KM1	2	0.351	0.072
KM2	1	0.369	0.075
KM3	3	0.280	0.057

Setelah mendapatkan bobot dari masing-masing kriteria kemudian dilanjutkan menganalisis hasil survey utama FCE dengan menilai keberlanjutan jalan objek ruas jalan Juwet-kenongo-Kremlung di Sidoarjo yang dijadikan studi kasus. Berdasarkan perhitungan analisis data dengan persamaan 7. Didapatkan nilai harapan dan realita dari tiap kriteria. Hasil dari rekap penilaian keberlanjutan jalan dengan studi kasus dapat dilihat pada **Tabel 9**.

### 3. Pembahasan

Berdasarkan hasil survei pendahuluan, terdapat 22 kriteria yang relevan dengan kondisi di Indonesia. Dua kriteria dinyatakan nilai tidak relevan karena memiliki nilai rata-rata kurang dari tiga. Kriteria KS10 "Sarana Partisipasi" dianggap tidak relevan karena perencanaan jalan di Indonesia berdasarkan survey lalu lintas bukan permintaan masyarakat. Kriteria KS4 "Mengurangi Perselisihan Pemanfaatan Jalan" dianggap tidak relevan karena kondisi jalan yang sebidang dengan rel kereta dan banyaknya instalasi tiang listrik yang tidak bisa dipindahkan.

**Tabel 9.** Hasil Penilaian Keberlanjutan Jalan dengan Objek Studi Kasus.

Kode	Harapan	Realita	$\Delta$ Nilai	Keterangan	Bobot AHP	$\Delta$ Nilai x Bobot AHP
KL1	4.255	4.364	0.109	Tercapai	0.035	0.004
KL2	4.441	4.482	0.040	Tercapai	0.045	0.002
KL3	4.321	2.874	-1.448	Belum Tercapai	0.067	-0.097
KL4	4.313	4.326	0.013	Tercapai	0.060	0.001
KS1	4.317	4.358	0.041	Tercapai	0.012	0.000
KS2	4.017	4.089	0.072	Tercapai	0.039	0.003
KS3	4.233	3.247	-0.986	Belum Tercapai	0.028	-0.027
KS4	4.308	4.397	0.089	Tercapai	0.020	0.002
KS5	4.234	3.004	-1.230	Belum Tercapai	0.031	-0.038
KS6	4.355	3.581	-0.775	Belum Tercapai	0.033	-0.026
KS7	4.366	4.414	0.049	Tercapai	0.038	0.002
KS8	4.257	4.289	0.033	Tercapai	0.051	0.002
KS9	4.235	3.212	-1.023	Belum Tercapai	0.047	-0.048
KE1	4.425	4.427	0.002	Tercapai	0.024	0.000
KE2	4.337	4.383	0.046	Tercapai	0.060	0.003
KE3	4.286	3.189	-1.098	Belum Tercapai	0.077	-0.084
KE4	4.412	3.309	-1.103	Belum Tercapai	0.029	-0.032
KE5	4.298	4.378	0.080	Tercapai	0.069	0.006
KE6	4.510	3.696	-0.814	Belum Tercapai	0.031	-0.025
KM1	4.285	3.309	-0.976	Belum Tercapai	0.072	-0.070
KM2	4.321	4.339	0.019	Tercapai	0.076	0.001
KM3	4.303	3.127	-1.176	Belum Tercapai	0.057	-0.068

Hasil perhitungan menggunakan metode AHP sebagai bobot dasar penilaian keberlanjutan jalan, kemudian dilakukan penilaian keberlanjutan pada ruas jalan Juwetkenongo-Krembung di Sidoarjo dengan metode FCE. Perbandingan antara rata-rata penilaian harapan dan realita keberlanjutan jalan di lapangan memberikan kesimpulan apakah kriteria keberlanjutan tercapai. Hasil uji menunjukkan bahwa dari 22 kriteria keberlanjutan, 10 kriteria keberlanjutan tidak tercapai berdasarkan peringkat selisih nilai antara harapan dan realita keberlanjutan yang dikalikan dengan bobot penilaian.

Hasil penilaian keberlanjutan jalan tersebut yang tidak tercapai dijelaskan sebagai berikut:

1. KE6 dengan nilai bobot -0.025 dapat disimpulkan bahwa kesederhanaan desain jalan tidak dapat mengurangi biaya karena desain drainase kompleks diperlukan untuk curah hujan tinggi.
2. KS8 dengan nilai bobot -0.026 dapat disimpulkan bahwa rekayasa lalu lintas tidak dapat meningkatkan kelancaran karena rendahnya kesadaran publik terhadap rambu jalan.
3. KS3 dengan nilai bobot -0.027 dapat disimpulkan bahwa akses setara tidak tercapai karena jalan yang ada tidak dirancang lajur pemisah, memerlukan biaya renovasi yang mahal dan lama.
4. KE4 dengan nilai bobot -0.032 dapat disimpulkan bahwa pembiayaan inovatif tidak tercapai karena risiko investasi tinggi dan ketidakpastian politik yang mengurangi minat swasta.
5. KS5 dengan nilai bobot -0.038 dapat disimpulkan bahwa penunjang operasional jalan tidak tercapai karena banyak perlengkapan rusak akibat kurangnya pemeliharaan rutin.
6. KS9 dengan nilai bobot -0.048 dapat disimpulkan bahwa Ketenangan pikiran tidak tercapai karena kekhawatiran keamanan di lahan istirahat mengurangi penggunaan fasilitas.
7. KM3 dengan nilai bobot -0.068 dapat disimpulkan bahwa manajemen pengadaan berkelanjutan tidak bisa tercapai karena rendahnya kesadaran tentang pengadaan barang ramah lingkungan.
8. KM1 dengan nilai bobot -0.070 dapat disimpulkan bahwa manajemen proyek berkelanjutan tidak tercapai karena kurangnya panduan penerapan prinsip keberlanjutan jalan dalam proyek.
9. KE3 dengan nilai bobot -0.084 dapat disimpulkan bahwa Penyediaan biaya tidak terduga tidak bisa tercapai karena birokrasi lambat menghambat alokasi biaya cadangan.
10. KL3 dengan nilai bobot -0.097 dapat disimpulkan bahwa Efisiensi energi tidak tercapai karena cuaca yang tidak menentu mempengaruhi kinerja teknologi hemat energi.

Kerangka penilaian yang diterapkan menunjukkan kemampuan untuk mengintegrasikan pihak *stakeholder* jalan dengan berbagai kepentingan keberlanjutan jalan, serta memberikan informasi jelas tentang kriteria kinerja yang perlu ditingkatkan [18]. Pembobotan kriteria keberlanjutan jalan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang melibatkan penilaian ahli, memberikan bobot objektif dan dapat mempermudah pengambilan keputusan [18],[19]. Namun, penilaian berdasarkan ahli bisa bias untuk objek yang spesifik, sehingga pandangan pihak yang terlibat perlu dipertimbangkan [15]. Pemetaan kriteria keberlanjutan yang

belum terpenuhi membantu pemangku kepentingan fokus pada indikator keberlanjutan jalan yang kurang memuaskan [16]. Metode *Fuzzy Comprehensive Evaluation* (FCE) membandingkan antara harapan dan realita pengelola jalan, mempertimbangkan dominasi penilaian keberlanjutan jalan, untuk mendukung pengambilan keputusan keberlanjutan yang tepat [15],[19]. FCE efektif untuk penilaian dalam situasi ketidakpastian dan ambiguitas dengan derajat keanggotaan kriteria [15],[16].

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis kriteria yang mempengaruhi keberlanjutan infrastruktur jalan yang relevan diterapkan di Indonesia yaitu kriteria keberlanjutan sosial dengan 9 sub kriteria yaitu keselamatan pengguna jalan, keamanan pengguna jalan, akses yang setara, memberikan pemandangan dan kebersihan jalan, memberikan penunjang operasional jalan, menyediakan pelayanan yang memadai, fasilitas umum yang aman, lalu lintas lancar di sepanjang jalan utama dan jalan penghubung, dan memberikan ketenangan pikiran pengguna. Keberlanjutan ekonomi dengan 6 sub kriteria yaitu meningkatkan ekonomi lokal, meningkatkan ekonomi regional, penyediaan biaya tidak terduga, mendukung pembiayaan yang inovatif, jaminan kualitas pekerjaan jalan, dan menghemat biaya perawatan. Keberlanjutan lingkungan dengan 4 sub kriteria yaitu penggunaan kembali bahan limbah yang layak sebagai bahan produksi jalan, konservasi lingkungan di sekitar jalan, efisiensi energi, dan manajemen air hujan. Keberlanjutan manajemen dengan 3 sub kriteria yaitu manajemen proyek yang berkelanjutan, manajemen risiko yang berkelanjutan, dan pengadaan berkelanjutan. Dari hasil rancangan model dan simulasi penerapan penilaian keberlanjutan infrastruktur jalan di Indonesia menggunakan gabungan antara metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dengan metode *Fuzzy Comprehensive Evaluation* (FCE), diperoleh bobot kriteria keberlanjutan secara hierarki. Bobot ini bisa digunakan untuk penilaian keberlanjutan jalan dan mengukur tingkat kepuasan *stakeholder* jalan dengan membandingkan ekspektasi dan realita yang dirasakan oleh *stakeholder* jalan. Hasilnya menunjukkan kriteria yang sudah sesuai, melebihi ekspektasi, atau belum mencapai ekspektasi, serta prioritas peningkatan untuk mencapai keberlanjutan yang maksimal.

#### Daftar Pustaka

- [1] K. PUPR, "Dukungan Masif Infrastruktur PUPR Untuk Lima Destinasi Pariwisata Super Prioritas," 2019.
- [2] L. Kiziridis, "An effective evaluation framework with a reporting method".
- [3] O. Taylan, R. Alamoudi, M. Kabli, A. Aljifri, F. Ramzi, and E. Herrera-Viedma, "Assessment of energy systems using extended fuzzy AHP, fuzzy VIKOR, and TOPSIS approaches to manage non-cooperative opinions," *Sustain.*, vol. 12, no. 7, 2020, doi: 10.3390/su12072745.
- [4] F. Censorii, L. Cotignoli, V. Vignali, and A. Bartoli, "ENVISION - Italy Adapted - Sustainable and Resistant Road Infrastructures," 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/coatings12020236>
- [5] S. O. Ametepey, C. O. Aigbavboa, and W. D. Thwala, "A Conceptual Framework for Sustainable Road Infrastructure Project Implementation in Developing Countries," vol. 2021, no. July 2020, pp. 610–618, 2019, doi: 10.3311/ccc2019-084.
- [6] K. J. Faah, "Analisis kesiapan daerah dalam penerapan konsep jalan berkelanjutan (Green Road) di Kota Kupang," 2017, [Online]. Available: <https://repository.unpar.ac.id/handle/123456789/544>
- [7] C. S. Goh and S. Rowlinson, "Conceptual Maturity Model for Sustainable Construction," *J. Leg. Aff. Disput. Resolut. Eng. Constr.*, vol. 5, no. 4, pp. 191–195, 2013, doi: 10.1061/(asce)la.1943-4170.0000129.
- [8] A. Karji and A. Karji, "DigitalCommons @ University of Nebraska - Lincoln Social Sustainability Indicators in Mass Housing Construction Social Sustainability Indicators in Mass Housing Construction," 2017.
- [9] Lim, S.K. Framework and processes for enhancing sustainability deliverables in Australian road infrastructure projects. School of Urban Development, Queensland University of Technology (QUT), Australia.
- [10] J. M. Diaz-sarachaga, "Sustainable Development Goals in Green Infrastructure Rating Systems," no. November, pp. 1–10, 2016, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/310845298\\_Sustainable\\_Development\\_Goals\\_in\\_Green\\_Infrastructure\\_Rating\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/310845298_Sustainable_Development_Goals_in_Green_Infrastructure_Rating_Systems)
- [11] F. Corriere and A. Rizzo, "Sustainability in Road Design: A Methodological Proposal for the Drafting of Guideline," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 53, pp. 39–48, 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.858.
- [12] A. Amiril, A. H. Nawawi, R. Takim, and S. N. F. A. Latif, "Transportation Infrastructure Project Sustainability Factors and Performance," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 153, pp. 90–98, 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.044.
- [13] S. I. Sarsam, "Sustainable and Green Roadway Rating

- System,” *Int. J. Sci. Res. Environ. Sci.*, vol. 3, no. 3, pp. 99–106, 2015, doi: 10.12983/ijres-2015-p0099-0106.
- [14] M. A. Rohman, H. Doloi, and C. A. Heywood, “Success criteria of toll road projects from a community societal perspective,” *Built Environ. Proj. Asset Manag.*, vol. 7, no. 1, pp. 32–44, 2017, doi: 10.1108/BEPAM-12-2015-0073.
- [15] F. R. Rivai, M. A. Rohman, and Supani, “A framework for mapping *stakeholders* interests related social sustainability in residential building,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 930, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/930/1/012003.
- [16] W. Li, W. Liang, L. Zhang, and Q. Tang, “Performance assessment system of health, safety and environment based on experts’ weights and fuzzy comprehensive evaluation,” *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 35, pp. 95–103, 2015, doi: 10.1016/j.jlp.2015.04.007.
- [17] T. L. Saaty, “How to make a decision,” *Int. Ser. Oper. Res. Manag. Sci.*, vol. 175, pp. 1–21, 2012, doi: 10.1007/978-1-4614-3597-6\_1.
- [18] D. Aullya Rachmawati, “Analisis Framework Sistem Pendukung Keputusan Penilaian Kinerja Karyawan Pada Pt. Xyz,” *Anal. Framew. Sist. Pendukung Keputusan Penilai. Kinerja Karyawan Pada Pt. Xyz*, pp. 6–8, 2015.
- [19] K. Kabassi, C. Karydis, and A. Bottonis, “AHP, fuzzy SAW, and fuzzy WPM for the evaluation of cultural websites,” *Multimodal Technol. Interact.*, vol. 4, no. 1, 2020, doi: 10.3390/mti4010005.