

## Analisis Pemilihan Perbaikan Jalan dengan Metode Sistem Pendukung Keputusan ANP Berintegrasi GIS

Galang Satrio<sup>1</sup>, Muhammad Faizal Ardhiansyah Arifin<sup>1,\*</sup>

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [faizal.arifin@mail.unnes.ac.id](mailto:faizal.arifin@mail.unnes.ac.id)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	05 November 2025	<i>Road infrastructure maintenance is an important aspect in supporting connectivity and economic activities in the region. Cost limitations cause road managers to have difficulty in determining road sections that need maintenance first. This study aims to determine the priority of road repair in Kudus Regency using the Analytic Network Process (ANP) method which is integrated with the Geographic Information System (GIS). The analysis was conducted on 14 road sections based on four main criteria, namely environmental, technical, cost, and road conditions. The weighting results showed that environmental factors had the greatest influence (0.35), followed by technical (0.30), cost (0.25), and road conditions (0.09). Based on the calculation results, the main priority for repairs is applied on roads in residential areas that are severely damaged however low maintenance costs. The results of this study show that the integration of ANP and GIS is able to produce an objective, efficient, and supportive decision-making model for local governments in planning sustainable road maintenance.</i>
Diperbaiki	25 November 2025	
Disetujui	22 Mei 2026	

Keywords: ANP, GIS, road maintenance, priority, decision support systems.

Kata kunci: ANP, GIS, perbaikan jalan, prioritas, sistem pendukung keputusan.

### Abstrak

Perbaikan infrastruktur jalan merupakan aspek penting dalam mendukung konektivitas dan aktivitas ekonomi wilayah. Keterbatasan biaya menyebabkan pengelola jalan kesulitan dalam menentukan ruas jalan yang perlu dilakukan Perbaikan terlebih dahulu. Penelitian ini bertujuan menentukan prioritas perbaikan jalan di Kabupaten Kudus dengan menggunakan metode *Analytic Network Process* (ANP) yang diintegrasikan dengan *Geographic Information System* (GIS). Analisis dilakukan terhadap 14 ruas jalan berdasarkan empat kriteria utama, yaitu lingkungan, teknis, biaya, dan kondisi jalan. Hasil pembobotan menunjukkan bahwa faktor lingkungan memiliki pengaruh terbesar (0,35), diikuti teknis (0,30), biaya (0,25), dan kondisi jalan (0,09). Berdasarkan hasil perhitungan, prioritas utama perbaikan dilakukan pada ruas jalan di daerah pemukiman penduduk yang mengalami kondisi rusak parah namun cenderung memiliki biaya Perbaikan yang murah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi ANP dan GIS mampu menghasilkan model pengambilan keputusan yang objektif, efisien, serta mendukung pemerintah daerah dalam merencanakan perbaikan jalan secara berkelanjutan.

### 1. Pendahuluan

Perbaikan infrastruktur jalan merupakan faktor krusial dalam menjaga konektivitas transportasi dan mendukung aktivitas ekonomi daerah. Kerusakan jalan dapat memicu kecelakaan lalu lintas dan hambatan ekonomi yang signifikan. Peningkatan jumlah kendaraan serta faktor lingkungan mempercepat degradasi jalan, sehingga diperlukan strategi Perbaikan yang terencana dan berkelanjutan. Di wilayah dengan intensitas mobilitas tinggi seperti Kabupaten Kudus, kondisi jalan yang baik berkontribusi langsung terhadap kenyamanan pengguna, efisiensi logistik, dan produktivitas wilayah

Keterbatasan anggaran menjadi tantangan utama dalam menentukan prioritas Perbaikan jalan sehingga dilakukan pendekatan *life cycle cost analysis* di kombinasikan dengan *resource-constrained project scheduling* untuk mendapatkan

efektivitas alokasi sumber dana [1]. Namun, penelitian sebelumnya belum mengintegrasikan penilaian multidimensi tersebut dalam suatu model yang komprehensif, khususnya untuk konteks Kabupaten Kudus. Secara eksisting, prioritas di Kudus masih menghadapi keterbatasan data spasial terintegrasi, dominasi penilaian subjektif, serta belum tersedianya mekanisme pembobotan yang mampu menangkap ketergantungan antar-kriteria.

Kondisi ini menunjukkan adanya research gap terkait kebutuhan pendekatan yang lebih analitis dan berbasis keruangan. Dalam konteks tersebut, metode ANP-GIS dipilih karena kemampuannya memodelkan interdependency antar-kriteria secara lebih representatif dibanding metode hierarkis konvensional serta menyediakan integrasi spasial untuk menghasilkan prioritas perbaikan jalan yang lebih objektif dan akurat. Integrasi ANP dengan perangkat *Super*

*Decisions* dan *Geographic Information System (GIS)* memungkinkan evaluasi alternatif perbaikan jalan secara berkelanjutan [2]. Keunggulan ANP dalam mengevaluasi sistem dengan keterkaitan dan umpan balik antar kriteria telah diperkuat oleh Saaty dan Vargas [3], yang menyatakan bahwa metode ini efektif untuk pengambilan keputusan multidimensional dalam infrastruktur transportasi. Implementasi ANP untuk menilai keberlanjutan infrastruktur pesisir, menunjukkan bahwa metode mampu menangani interdependensi antar dimensi [4].

Penggabungan ANP dengan GIS semakin memperkuat analisis antar dimensi dan spasial dalam penentuan prioritas infrastruktur. Bahwa model GIS-ANP mampu meningkatkan akurasi dalam mengidentifikasi lokasi prioritas berdasarkan kriteria teknis, sosial, lingkungan, dan ekonomi [5]. Penerapan serupa oleh Jiang dan kawan - kawan pada perencanaan tata guna lahan juga membuktikan bahwa integrasi tersebut meningkatkan objektivitas dan transparansi keputusan [6]. Selain itu, Jiang dan kawan – kawan mengembangkan pendekatan MCDM-GIS dengan algoritma *least-cost wide path* untuk perencanaan rute jalan berkelanjutan, yang menguatkan relevansi metode berbasis *spasial-multikriteria* dalam pengelolaan infrastruktur [7]. Meskipun berbagai penelitian telah menyoroti efektivitas ANP dan integrasi GIS, kajian yang secara spesifik menerapkan pendekatan ini pada penentuan prioritas Perbaikan masih perlu di tingkatkan. Oleh karena itu, studi ini berfokus pada analisis prioritas Perbaikan jalan menggunakan sistem pendukung keputusan berbasis ANP yang diintegrasikan ke dalam model GIS dengan mempertimbangkan fungsi dan lokasi jalan.

Penelitian ini bertujuan menghasilkan model pengambilan keputusan yang objektif dan terstruktur untuk mendukung efektivitas pengelolaan perbaikan jalan oleh pemerintah daerah. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan bobot kriteria dinamis berbasis ANP yang mampu menangkap *interdependency* antar-aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan, serta integrasinya dengan GIS pada level kecamatan untuk menghasilkan prioritas spasial yang lebih presisi.

Pendekatan ini penting karena metode penetapan prioritas yang digunakan saat ini masih bersifat deskriptif untuk memberikan gambaran jelas dan subjektif, sehingga belum mampu memberikan dasar kuantitatif yang akuntabel dalam pengambilan keputusan. yang objektif, terstruktur, dan aplikatif bagi pemerintah daerah dalam pengelolaan perbaikan infrastruktur jalan secara efektif dan efisien serta memperhatikan banyak faktor selain dari nilai ekonomis atau biaya.

## 2. Metode

Infrastruktur jalan merupakan elemen strategis pendukung mobilitas, ekonomi, dan konektivitas wilayah [8]. Regulasi nasional melalui UU No. 38/2004 dan Permen PUPR No. 11/PRT/M/2010 mengklasifikasikan jalan berdasarkan fungsi dan kewenangan, yang menjadi dasar desain teknis, alokasi anggaran, dan strategi pengelolaan [9].

Perbaikan jalan bertujuan menjaga fungsi, mencegah kerusakan lanjut, dan memperpanjang usia layanan melalui Perbaikan rutin, berkala, dan darurat [10]. Faktor dominan penyebab kerusakan meliputi beban lalu lintas, iklim, dan mutu konstruksi [11] [12]. Penilaian kondisi menggunakan inspeksi visual, IRI, kekuatan struktural, dan indikator IKP sebagai dasar perencanaan teknis (MPJ-03-2005; Permen PUPR No. 19/SE/M/2016).

Penelitian dilakukan pada 14 ruas jalan di Kabupaten Kudus yang teridentifikasi membutuhkan perbaikan. Setiap ruas jalan dianalisis berdasarkan kondisi fisik, biaya perbaikan, aspek teknis, dan kondisi lingkungan. Data spasial wilayah penelitian diperoleh dalam bentuk peta jaringan jalan (*shapefile*), yang selanjutnya digunakan dalam integrasi sistem pendukung keputusan berbasis GIS. Rincian dari setiap sub-kriteria biaya, kondisi jalan, lingkungan, teknis yang diamati disajikan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Biaya, kondisi jalan, lingkungan, teknis

Biaya (A)	Teknis (B)	Kondisi Jalan (C)	Lingkungan (D)
Sangat Mahal (a1)	Flexible Pavement (b1)	Hancur (c1)	Pemukiman Penduduk (d1)
Mahal (a2)	Rigid Pavement (b2)	Sangat Parah (c2)	Industri (d2)
Sedang (a3)	-	Parah (c3)	Bisnis/Perdagangan (d3)
Murah (a4)	-	Jelek (c4)	Kawasan Pertanian (d4)
-	-	Sedang (c5)	-
-	-	Baik (c6)	-
-	-	Sangat Baik (c7)	-

Dalam pengambilan keputusan prioritas, ANP digunakan karena kemampuannya memodelkan hubungan interdependen dan umpan balik antar kriteria [13]. *Super Decisions* memfasilitasi penyusunan model, penilaian berpasangan, supermatrix, dan analisis sensitivitas [3], [14]. Integrasi ANP dengan GIS memperkuat evaluasi spasial dan penentuan prioritas berbasis lokasi [15]. Sinergi kedua pendekatan tersebut memperkuat akurasi keputusan dalam Perbaikan Perbaikan berbasis spasial dan multi-kriteria.

Tahap awal penelitian dimulai dengan identifikasi objek penelitian dan penetapan kriteria analisis. Ruas jalan yang

mengalami kerusakan dijadikan sebagai alternatif dalam model, sementara kriteria dan subkriteria ditetapkan berdasarkan studi literatur, observasi empiris, dan validasi pakar. Kriteria utama mencakup kondisi fisik jalan, biaya perbaikan, aspek teknis, dan faktor lingkungan, yang kemudian dituangkan ke dalam struktur jaringan ANP. Pada tahap pengumpulan data, digunakan dua jenis sumber data. Data primer diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada

pakar ahli jalan dari instansi teknis Dinas PUPR, konsultan ahli di bidang jalan di lingkup Kabupaten Kudus dan akademisi. Penyebaran kuesioner ini di peruntukan yang mempunyai keahlian di bidang teknik. Penilaian ahli ini digunakan untuk menyusun matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Data sekunder terdiri atas data kondisi jalan, data perbaikan jalan, anggaran, dan peta jaringan jalan berbasis GIS.

**Tabel 2.** Skala Nilai Perbandingan Berpasangan

Nilai Skala	Definisi	Penjelasan
1	Sama penting	Dua aktivitas yang berkontribusi sama penting
3	Sedikit lebih penting	Hasil dan penilaian lebih kuat satu daripada lainnya
5	Lebih penting	Hasil dan penilaian lebih kuat satu daripada yang lain
7	Sangat penting	Aktivitas lebih kuat dan mendominasi
9	Mutlak lebih penting	Kondisi satu aktivitas paling tinggi dari kondisi lain
2, 4, 6, 8	Nilai di antara dua pendapat yang berdekatan	Kondisi ketika diperlukan kompromi
Resiprokal	Jika aktivitas i memiliki nilai diatas yang digunakan untuk membandingkan aktivitas j, kemudian j adalah nilai resiprokal ketika dibandingkan dengan i	
Rasional	Perbandingan peningkatan nilai dari skala	Jika konsistensi berada dalam kondisidipaksa untuk memperoleh nilai n pada matriks

Penelitian ini dilaksanakan melalui suatu alur analisis yang terstruktur dengan mengintegrasikan metode Analytic Network Process (ANP), perangkat lunak Super Decisions, dan *Geographic Information System* (GIS) untuk menghasilkan prioritas penanganan jalan yang bersifat komprehensif dan spasial. Tahapan penelitian diawali dengan penetapan kriteria penilaian yang merepresentasikan aspek teknis, kondisi perkerasan, lingkungan, serta faktor pendukung lainnya yang relevan dalam pengambilan keputusan perawatan jalan. Setelah kriteria ditetapkan, dilakukan penyusunan skala perbandingan berpasangan antar kriteria guna menggambarkan tingkat kepentingan relatif setiap elemen dalam sistem keputusan. Penilaian perbandingan berpasangan yang diperoleh dari para ahli kemudian digabungkan menggunakan pendekatan rata-rata geometrik (*geometric mean*) untuk membentuk matriks perbandingan berpasangan. Matriks ini selanjutnya digunakan untuk menghitung matriks nilai kriteria serta bobot masing-masing komponen melalui perhitungan vektor *eigen*. Untuk memastikan bahwa penilaian yang diberikan bersifat logis dan dapat dipertanggungjawabkan, dilakukan perhitungan nilai eigen maksimum yang menjadi dasar dalam evaluasi tingkat konsistensi penilaian, yaitu melalui perhitungan *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR). Apabila nilai CR berada pada batas yang dapat diterima, yaitu kurang dari atau sama dengan 0,10, maka hasil pembobotan dinyatakan konsisten dan layak digunakan

pada tahap analisis berikutnya. Bobot kriteria yang telah tervalidasi selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pemodelan jaringan keputusan menggunakan perangkat lunak *Super Decisions*. Pada tahap ini, seluruh data hasil penilaian ruas jalan dimasukkan ke dalam model ANP untuk membentuk supermatrix yang merepresentasikan hubungan ketergantungan dan umpan balik antar elemen dalam sistem. Proses perhitungan supermatrix menghasilkan bobot prioritas global setiap ruas jalan sebagai dasar penentuan tingkat prioritas penanganan.

Hasil akhir berupa bobot prioritas global dari perhitungan *supermatrix* kemudian diintegrasikan ke dalam *Geographic Information System* (ArcGIS) melalui tabel atribut spasial. Integrasi ini memungkinkan visualisasi hasil analisis dalam bentuk peta prioritas penanganan jalan, sehingga dapat memberikan informasi yang lebih intuitif, objektif, dan berbasis data spasial untuk mendukung pengambilan keputusan strategis dalam perawatan jalan. Proses pembobotan dilakukan melalui perbandingan berpasangan antar elemen menggunakan skala Saaty (1–9) ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Data-data yang telah diperoleh kemudian disusun untuk memodelkan struktur hirarki dari ANP. Struktur hirarki ini bertujuan untuk mendeskripsikan tujuan (*goal*), parameter atau kriteria (*criteria*), sub kriteria (*sub criteria*) dan alternatif (*alternative*). Berdasarkan hasil pemodelan hirarki

tersebut kemudian dapat dilakukan penilaian terhadap setiap parameter/kriteria.

Data-data berupa rencana anggaran biaya, kondisi jalan, kondisi lingkungan dan data teknis. Data- data tersebut merupakan data yang akan dinilai oleh pengambil keputusan pakar di Kabupaten Kudus. Penilaian dilakukan dengan melakukan penyebaran kuesioner kepada Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Kudus, konsultan, kontraktor, dan akademisi. Penilaian dilakukan dengan mengacu pada skala penilaian dapat ditunjukkan dalam **Tabel 2**. Berdasarkan hasil penilaian kemudian dilakukan perhitungan rata - rata geometrik untuk mendapatkan nilai akhir dari penilaian ke-7 responden. Perhitungan rata - rata geometrik dapat ditunjukkan dengan menggunakan Persamaan (1).

$$Geomean = \sqrt[n]{axbxc \dots n} \tag{1}$$

Dimana:

- Geomean* = rerata geometrik
- a,b,c, ....n* = skor penilaian
- n* = jumlah responden

Perhitungan bobot elemen pada metode *Analytic Network Process* (ANP) dilakukan dengan menggunakan matriks perbandingan berpasangan. Proses ini disusun melalui perbandingan antar elemen, di mana suatu elemen pada level baris atas dibandingkan dengan elemen lain pada level kolom kiri secara berpasangan. Hasil perbandingan tersebut kemudian ditransformasikan ke dalam bentuk matriks berukuran  $n \times n$ , yang menjadi dasar dalam menentukan tingkat kepentingan relatif antar elemen. Matriks perbandingan berpasangan ini selanjutnya digunakan untuk memperoleh bobot prioritas yang konsisten, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Matriks Perbandingan Berpasangan

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	....	B <sub>n</sub>
B1	B <sub>11</sub>	B <sub>12</sub>	B <sub>13</sub>	...	B <sub>1n</sub>
B2	B <sub>21</sub>	B <sub>22</sub>	B <sub>23</sub>	...	B <sub>2n</sub>
B3	B <sub>31</sub>	B <sub>32</sub>	B <sub>33</sub>	...	B <sub>3n</sub>
....	....	....	....	...	....
B <sub>n</sub>	B <sub>n1</sub>	B <sub>n2</sub>	B <sub>n3</sub>	...	B <sub>nn</sub>

Dimana:

B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>,..., B<sub>n</sub> = objek yang dibandingkan

Langkah penetapan nilai perbandingan dilakukan melalui tahapan berikut: (1) membentuk matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*) berdasarkan elemen yang dianalisis; (2) menetapkan nilai diagonal matriks dengan angka satu sebagai pembanding elemen terhadap dirinya sendiri; dan (3) membandingkan antar

elemen menggunakan skala penilaian 1–9 sesuai **Tabel 2**. untuk memperoleh bobot prioritas setiap elemen.

Tahap Selanjutnya Penentuan bobot kriteria diperoleh melalui perhitungan *eigen vector* (vektor prioritas) dari matriks perbandingan berpasangan. Tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut:

Membentuk matriks nilai kriteria menggunakan Persamaan (2).

$$Nilai = \frac{Nilai\ baris}{Jumlah\ kolom\ masing-masing} \tag{2}$$

Menentukan nilai *eigen vector* (vektor prioritas) menggunakan Persamaan (3).

$$X = \sqrt[n]{a1 + a2 + a3 + \dots + an} \tag{3}$$

Menghitung nilai *eigen* maksimum menggunakan Persamaan (4).

$$\lambda_{maks} = (w_1 \times C_1) + (w_2 \times C_2) + \dots + (w_n \times C_n) \tag{4}$$

Dimana:

- w* = *eigen vector*
- C<sub>1</sub>* = jumlah kolom ke-*i* dari matriks perbandingan,
- n* = jumlah elemen

Tahap selanjutnya di lakukan uji konsistensi yang dihasilkan harus  $\leq 0,1$  atau  $\leq 10\%$  . Apabila rasio konsistensi semakin mendekati angka nol menunjukkan kekonsistensian matriks perbandingan dan nilainya semakin baik menggunakan Persamaan (5).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{5}$$

Dimana:

- CI = *Consistency Index*
- $\lambda_{max}$  = Nilai *eigen* terbesar
- n* = Jumlah kriteria

Dalam tahapan evaluasi matriks perbandingan, nilai Indeks Konsistensi (CI) yang telah dikalkulasi pada tahap sebelumnya bertindak sebagai parameter fundamental untuk mengukur tingkat Rasio Konsistensi (CR). Pengujian CR ini merupakan prosedur verifikasi analitis yang krusial untuk memastikan bahwa penilaian subjektif atau preferensi yang diberikan tidak melanggar batas toleransi inkonsistensi yang diizinkan dalam model pengambilan keputusan. Secara operasional, komputasi matematika untuk mendapatkan nilai Rasio Konsistensi tersebut dieksekusi dengan merujuk pada formulasi yang direpresentasikan pada Persamaan (6).

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{6}$$

Dimana:

- CR = *Consistency Ratio*
- CI = *Consistency Index*
- RI = *Rasio Index*

Nilai indeks rasio ditentukan berdasarkan nilai matriks yang dibandingkan. Nilai indeks rasio dapat ditunjukkan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Nilai Rasio Indeks (RI)

N	RI
1	0
2	0
3	0,52
4	0,89
5	1,11
6	1,25
7	1,35
8	1,40
9	1,45
10	1,49

Dimana:

Jika  $CR \leq 0,1 \rightarrow$  hasil konsisten

Jika  $CR > 0,1 \rightarrow$  perbandingan perlu diperbaiki

Tahap selanjutnya membuat *supermatriks* merupakan matriks yang terdiri dari beberapa matriks. Menurut Saaty *supermatriks* memiliki 3 jenis tahapan yang digunakan dalam ANP, yaitu :

- Unweighted Supermatrix* (supermatriks tanpa pembobotan), dilakukan dengan cara memasukkan semua nilai prioritas (*eigen vector*) yang diperoleh dari matriks perbandingan berpasangan antar elemen ke dalam tabel supermatriks ditunjukkan pada **Tabel 5**.
- Weighted Supermatrix* (supermatriks yang berbobot), dihasilkan dari perkalian antara *unweighted supermatrix* dan nilai perbandingan cluster yang terkait.
- Limit Supermatrix* (supermatriks terbatas) didapatkan dengan cara memangkatkan *weighted supermatrix* secara terus menerus sampai angka disetiap kolom dalam satu baris sama besar, pangkat dari *weighted supermatrix* yaitu pangkat  $k$ , dimana  $k = 1, 2, \dots, n$ . Apabila semua kolom dalam supermatriks memiliki nilai yang sama, maka dianggap sudah bersifat stabil (*limit supermatrix* sudah didapat).

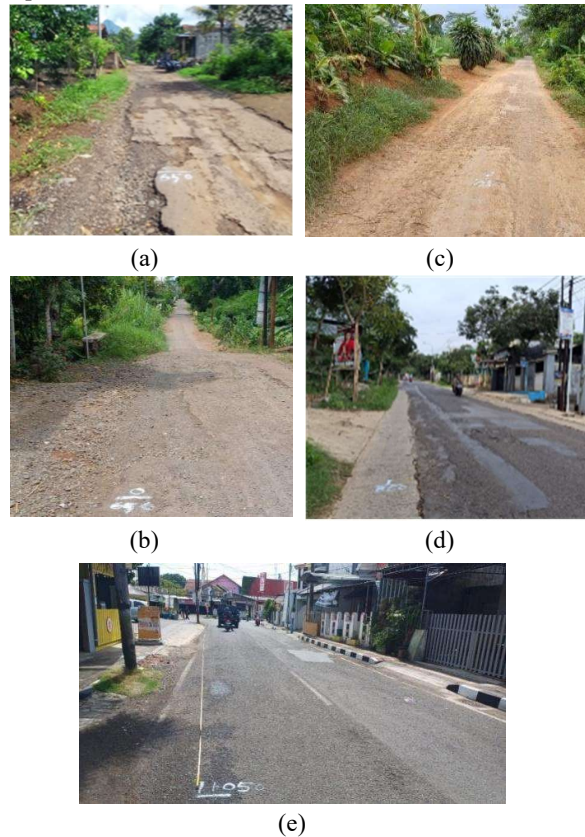
**Tabel 5.** Format Dasar Supermatriks

		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	...	C <sub>N</sub>
		e <sub>11</sub> ... e <sub>1n</sub>	e <sub>21</sub> ... e <sub>2n</sub>	...	e <sub>n1</sub> ... e <sub>Nn</sub>
C <sub>1</sub>	e <sub>11</sub>	W <sub>11</sub>	W <sub>12</sub>	...	W <sub>1N</sub>
	...				
	e <sub>1n</sub>				
C <sub>2</sub>	e <sub>21</sub>	W <sub>21</sub>	W <sub>22</sub>	...	W <sub>2N</sub>
	...				
	e <sub>2n</sub>				
C <sub>N</sub>	e <sub>N1</sub>	W <sub>N1</sub>	W <sub>N2</sub>	...	W <sub>NN</sub>
	...				
	e <sub>Nn</sub>				

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengelompokan komponen pengelompokan kondisi jalan, dilakukan evaluasi terhadap 14 ruas jalan dan hasil evaluasi dibahas pada bagian ini. Untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas kepada pembaca, bagian ini akan dimulai dengan menampilkan representasi visual dari

ruas jalan. Secara umum, kondisi 14 ruas jalan, mencerminkan kondisi yang hancur hingga baik. Meski begitu, kondisi ruas jalan membutuhkan Perbaikan yang lebih intensif untuk menjaga kondisi yang baik atau bahkan optimal. Contoh visual pada **Gambar 1** adalah kondisi jalan yang akan di perbaiki data tersebut merupakan data sekunder yang di ambil dari dokumen perencanaan Dinas PUPR Kabupaten Kudus. Pada tahap awal penelitian, data diperoleh melalui hasil penyebaran kuesioner kepada para responden.



**Gambar 1.** Kondisi Jalan (a) Kondisi hancur, (b) sangat parah, (c) parah, (d) jelek, (e) sedang

Selanjutnya, dilakukan proses perhitungan menggunakan skala penilaian rata-rata geometrik (*geomean*) untuk mengolah hasil penilaian 7 responden, jumlah tersebut telah memenuhi batas minimum sampel untuk metode ANP, karena pendekatan expert judgment tidak menuntut jumlah responden besar, melainkan representativitas keahlian dan konsistensi penilaian. Para responden dipilih melalui purposive sampling dengan kriteria kompetensi yang relevan, meliputi praktisi Dinas PUPR, ahli perkerasan jalan yang memiliki sertifikasi keahlian, serta akademisi terhadap

kriteria utama dan subkriteria yang telah ditetapkan. Proses perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh nilai representatif dari setiap kriteria berdasarkan persepsi kolektif responden. Hasil perhitungan rata-rata geometrik tersebut disajikan secara rinci pada **Tabel 6**, **Tabel 7**, **Tabel 8**, **Tabel 9**, dan **Tabel 10**.

**Tabel 6.** Rekapitulasi Penilaian Kriteria Utama

Kriteria	Geomean	Kriteria
Biaya	1,38	Teknis
Biaya	0,24	Kondisi Jalan
Biaya	1,99	Lingkungan
Teknis	0,37	Kondisi Jalan
Teknis	1,06	Lingkungan
Kondisi Jalan	3,04	Lingkungan

**Tabel 7.** Rekapitulasi Penilaian Kriteria Teknis

Kriteria	Geomean	Kriteria
Flexible Pavement	0,22	Rigid Pavement

**Tabel 8.** Rekapitulasi Penilaian Kriteria Biaya

Kriteria	Geomean	Kriteria
Sangat Mahal	0,86	Mahal
Sangat Mahal	0,48	Sedang
Sangat Mahal	0,40	Murah
Mahal	0,75	Sedang
Mahal	0,35	Murah
Sedang	0,64	Murah

**Tabel 9.** Rekapitulasi Penilaian Kriteria Lingkungan

Kriteria	Geomean	Kriteria
Pemukiman	1,40	Industri
Penduduk		
Pemukiman	1,60	Bisnis/Perdagangan
Penduduk		
Pemukiman	5,23	Pertanian
Penduduk		
Industri	0,91	Bisnis/Perdagangan
Industri	1,83	Petanian
Bisnis/Perdagangan	3,50	Petanian

Dalam penelitian terdahulu oleh Sarfaraz Ahmed, P. Vedagiri, K.V., Krishna Rao dengan judul "Prioritization of pavement maintenance sections using objective based Analytic Hierarchy Process" dalam penelitian tersebut menggunakan metode AHP dan belum terintegrasi dengan GIS [16]. Pada penelitian ini mengembangkan metode menjadi ANP terintegrasi dengan GIS.

Proses analisis diawali dengan pengolahan data hasil penilaian responden terhadap seluruh kriteria yang

digunakan dalam penelitian. Penentuan bobot masing-masing kriteria dilakukan melalui pendekatan matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*), di mana nilai preferensi antar kriteria diestimasi berdasarkan tingkat kepentingan relatif menurut

**Tabel 10.** Rekapitulasi Penilaian Kriteria Kondisi Jalan

Kriteria	Geomean	Kriteria
Hancur	1,90	Sangat Parah
Hancur	0,96	Parah
Hancur	1,81	Jelek
Hancur	1,63	Sedang
Hancur	1,81	Baik
Hancur	1,48	Sangat Baik
Sangat Parah	0,85	Parah
Sangat Parah	1,49	Jelek
Sangat Parah	1,34	Sedang
Sangat Parah	1,81	Baik
Sangat Parah	1,81	Sangat Baik
Parah	0,96	Jelek
Parah	1,30	Sedang
Parah	1,44	Baik
Parah	2,43	Sangat Baik
Jelek	1,46	Sedang
Jelek	1,78	Baik
Jelek	1,66	Sangat Baik
Sedang	1,83	Baik
Kondisi Sedang	1,38	Sangat Baik
Baik	1,18	Sangat Baik

para responden. Selanjutnya, perhitungan bobot dilakukan menggunakan metode kebalikan yang merupakan prosedur baku dalam kerangka *Analytic Network Process* untuk memastikan konsistensi logis dalam pemberian nilai perbandingan.. Sebagaimana disajikan pada **Tabel 11**.

**Tabel 11.** Matriks Kriteria Utama

	A	B	C	D
A	1	0,72	4,23	0,50
B	1,38	1	2,72	0,95
C	0,24	0,37	1	0,33
D	1,99	1,06	3,04	1
Jumlah	4,61	3,15	10,99	2,78

Kemudian perhitungan untuk subkriteria dilakukan melalui tahapan yang sama dengan perhitungan kriteria utama. Tahap selanjutnya perhitungan vektor prioritas atau *eigen vector*, perhitungan pada matriks bertujuan untuk memperoleh nilai vektor prioritas dari setiap parameter. Nilai vektor prioritas tersebut selanjutnya digunakan dalam menentukan nilai  $\lambda$  maksimum. Proses perhitungan vektor prioritas ini dapat dijelaskan melalui persamaan (3) dan hasil perhitungan pada **Tabel 12**.

**Tabel 12.** Nilai eigen vector maksimum dan Konsistensi Kriteria Utama

	A	B	C	D	Jumlah	E-Vector	Matrix x Priority	Konsistensi
A	0,22	0,23	0,38	0,18	1,01	0,25	1,05	4,14
B	0,30	0,32	0,25	0,34	1,21	0,30	1,24	4,11
C	0,05	0,12	0,09	0,12	0,38	0,09	0,38	4,03
D	0,43	0,34	0,28	0,36	1,41	0,35	1,46	4,16
							$\lambda$ maks =	4,11

Selanjutnya perhitungan untuk *eigen vector* maksimum dan konsistensi untuk sub kriteria dilakukan melalui tahapan yang sama dengan perhitungan kriteria utama. Selanjutnya perhitungan *eigen* maksimum diperoleh dari matriks awal dikalikan dengan E-Vector masing masing matriks dan kemudian hasil perkalian tersebut dijumlahkan. Hal ini diperlihatkan pada Persamaan (7) dan Persamaan (8).

Uji konsistensi

$$CI = \frac{4,11-4}{4-1} = 0,037 \quad (7)$$

Uji rasio konsistensi

$$CR = \frac{0,037}{0,89} = 0,041 \leq 0,1 \text{ (Konsisten)} \quad (8)$$

Dari hasil kalkulasi evaluasi matriks perbandingan sebelumnya, himpunan data telah dinyatakan memenuhi ambang batas rasio konsistensi, sehingga secara statistik dinilai valid dan memenuhi prasyarat untuk diproses lebih lanjut menggunakan perangkat lunak Super Decisions. Prosedur komputasi analitis yang seragam, termasuk di dalamnya tahapan kontrol pengujian terhadap indeks konsistensi, selanjutnya diaplikasikan secara berulang dan identik pada hierarki analisis yang lebih spesifik, yakni pada kelompok subkriteria teknis, biaya, lingkungan, dan kondisi jalan. Sebagai sintesis dari rangkaian proses kalkulasi matematis tersebut, distribusi nilai pembobotan akhir untuk masing-masing kriteria utama telah ditabulasi dan disajikan secara sistematis pada **Tabel 13** guna memfasilitasi interpretasi keseluruhan prioritas keputusan. Distribusi bobot ini menjadi indikator krusial untuk mengidentifikasi faktor mana yang paling dominan dalam memengaruhi pengambilan keputusan. Dengan demikian, hasil tabulasi tersebut memberikan landasan objektif bagi pemangku kepentingan untuk merumuskan strategi atau kebijakan yang paling optimal. Pendekatan terstruktur ini memastikan bahwa hasil akhir yang diperoleh terbebas dari bias subjektif dan sepenuhnya berbasis pada parameter yang terukur.

Berdasarkan sintesis hasil perhitungan bobot kriteria yang tertuang pada tabel sebelumnya, evaluasi terhadap persepsi responden mengonfirmasi adanya dominasi signifikansi pada faktor lingkungan, yang menempati

hierarki preferensi tertinggi dengan perolehan bobot sebesar 0,35 (35%). Temuan analitis ini secara tegas mengindikasikan bahwa pertimbangan ekologis dan keberlanjutan lingkungan telah menjadi parameter fundamental yang paling diprioritaskan dalam proses penentuan prioritas ruas jalan yang membutuhkan intervensi penanganan. Pada urutan signifikansi berikutnya, kriteria teknis menyusul dengan kontribusi bobot sebesar 0,30 (30%). Proporsi nilai tersebut merepresentasikan bahwa, meskipun kelayakan dan kondisi struktural fisik infrastruktur jalan tetap memegang peranan esensial dalam kerangka pengambilan keputusan multikriteria, derajat pengaruhnya secara empiris diposisikan secara proporsional tepat di bawah parameter lingkungan.

**Tabel 13.** Bobot Kriteria Utama

Kriteria	Bobot
Lingkungan	0,35
Teknis	0,30
Biaya	0,25
Kondisi Jalan	0,09
Jumlah	1,00

Hasil analisis pembobotan, parameter biaya menempati hierarki ketiga dengan perolehan bobot sebesar 0,25 (25%), yang merepresentasikan bahwa rasionalisasi dan efisiensi anggaran tetap menjadi substansi pertimbangan yang signifikan, khususnya dalam kerangka optimalisasi alokasi sumber daya finansial oleh pemerintah daerah. Sebaliknya, kriteria kondisi jalan menempati prioritas terendah dengan kontribusi bobot sebesar 0,09 (9%). Temuan dari penelitian dan survei yang telah dilakukan ini mengindikasikan bahwa meskipun evaluasi fisik jalan merupakan indikator teknis yang fundamental di lapangan karena langsung dirasakan oleh pengguna jalan, faktor tersebut tidak bertindak sebagai determinan utama yang absolut ketika diintegrasikan ke dalam matriks pengambilan keputusan multikriteria yang lebih komprehensif. Secara lebih terperinci, keseluruhan distribusi nilai akhir untuk masing-masing kriteria utama beserta turunan subkriterianya telah ditabulasi dan disintesis secara sistematis pada **Tabel 14** guna memfasilitasi pembacaan struktur hierarki keputusan secara utuh.

**Tabel 14.** Bobot Hirarki Skala Prioritas

Tujuan	Kriteria Utama	Subkriteria
Prioritas	Biaya (A) (0,25)	Sangat Mahal (a1) (0,37)
		Mahal (a2) (0,32)
		Sedang (a3) (0,17)
		Murah (a4) (0,13)
	Teknis (B) (0,30)	Flexible Pavement (b1) (0,82)
		Rigid Pavement (b2) (0,18)
		Hancur (c1) (0,10)
	Kondisi Jalan (C) (0,09)	Sangat Parah (c2) (0,12)
		Parah (c3) (0,11)
		Jelek (c4) (0,13)
		Sedang (c5) (0,15)
		Baik (c6) (0,20)
		Sangat Baik (c7) (0,21)
	Lingkungan (D) (0,35)	Pemukiman Penduduk (d1) (0,12)
Industri (d2) (0,21)		
Bisnis/Perdagangan (d3) (0,17)		
Kawasan Pertanian (d4) (0,51)		

Selanjutnya, dilakukan rekapitulasi hasil skoring terhadap variabel tingkat kondisi ruas jalan pada masing-masing ruas jalan yang menjadi objek penelitian. Proses ini dilakukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kondisi eksisting jaringan jalan di wilayah studi,

dengan mempertimbangkan berbagai indikator teknis yang telah ditetapkan sebelumnya. Rekapitulasi ini juga berfungsi sebagai dasar dalam penentuan prioritas perbaikan jalan pada tahap analisis berikutnya. Hasil lengkap dari proses rekapitulasi tersebut disajikan pada **Tabel 15**.

**Tabel 15.** Hasil Skoring Tingkat Kondisi Ruas Jalan

No	Ruas Jalan	Kondisi Jalan	Skoring
1	Gebog - Menawan	Jelek	4
2	Mayor Kusmanto	Sedang	5
3	Subchan Ze	Sedang	5
4	Cranggang Wetan - Kuwukan	Hancur	1
5	Rehabilitasi Jalan Bhakti	Sedang	5
6	Kedungdowo - Garung Kidul	Parah	3
7	Pelanggading - Rejosari	Hancur	1
8	Umk - Gondangmanis	Jelek	4
9	Kesambi - Jelak	Jelek	4
10	Puyoh - Bonajar - Soco	Hancur	1
11	Kandangmas - Cranggang Wetan	Jelek	4
12	Pohdengkol - Nosari	Parah	3
13	Honggosoco - Margorejo	Sangat Parah	2
14	Cendono - Samirejo Kab. Kudus	Jelek	4

Penilaian parameter efektivitas biaya pada setiap alternatif ruas jalan diformulasikan secara sistematis melalui kalkulasi estimasi total anggaran perbaikan yang esensial untuk masing-masing segmen. Sistem konversi skor ini secara ketat mengadopsi prinsip efisiensi finansial dengan mengimplementasikan pendekatan pembobotan berbanding terbalik (*inverse scoring*). Berdasarkan logika analitis

tersebut, alternatif ruas jalan yang mengindikasikan proyeksi serapan biaya terendah diposisikan sebagai prioritas utama dan diberikan nilai maksimum (skor 5), sementara segmen yang menuntut beban biaya perbaikan tertinggi direpresentasikan sebagai prioritas terendah dengan perolehan nilai minimum (skor 1). Rincian komprehensif terkait matriks distribusi penilaian parameter

efektivitas biaya untuk keseluruhan alternatif ini telah ditabulasi secara terstruktur pada **Tabel 16** guna

memberikan landasan justifikasi ekonomis yang objektif dalam kerangka pengambilan keputusan akhir

**Tabel 16.** Hasil Skoring Tingkat Biaya

No.	Ruas Jalan	Biaya	Skoring	Teknis	Skoring	Industri	Skoring
1	Cranggang Wetan - Kuwukan	500.000.000	5	RP	1	Industri	4
2	Kedungdowo - Garung Kidul	500.000.000	5	RP	1	Bisnis/Perdagangan	4
3	Kesambi - Jelak	500.000.000	5	FP	2	Pertanian	3
4	Puyoh - Bonajar - Soco	500.000.000	5	FP	2	Bisnis/Perdagangan	2
5	Kandangmas - Cranggang Wetan	500.000.000	5	FP	2	Pemukiman Penduduk	3
6	Pohdengkol - Nosari	500.000.000	5	FP	2	Pemukiman Penduduk	1
7	Honggosoco - Margorejo	500.000.000	5	FP	2	Industri	4
8	Mayor Kusmanto	1.000.000.000	4	FP	2	Pemukiman Penduduk	4
9	Bhakti	1.000.000.000	4	FP	2	Pertanian	1
10	Pelanggading - Rejosari	1.000.000.000	4	FP	2	Pemukiman Penduduk	2
11	Cendono - Samirejo Kab. Kudus	1.000.000.000	4	FP	2	Pemukiman Penduduk	1
12	Umk - Gondangmanis	1.050.000.000	3	FP	2	Pemukiman Penduduk	1
13	Subchan Ze	2.000.000.000	2	FP	2	Pemukiman Penduduk	1
14	Gebog - Menawan	3.000.000.000	1	FP	2	Industri	1

Dimana:

RP = *Rigid Pavement*

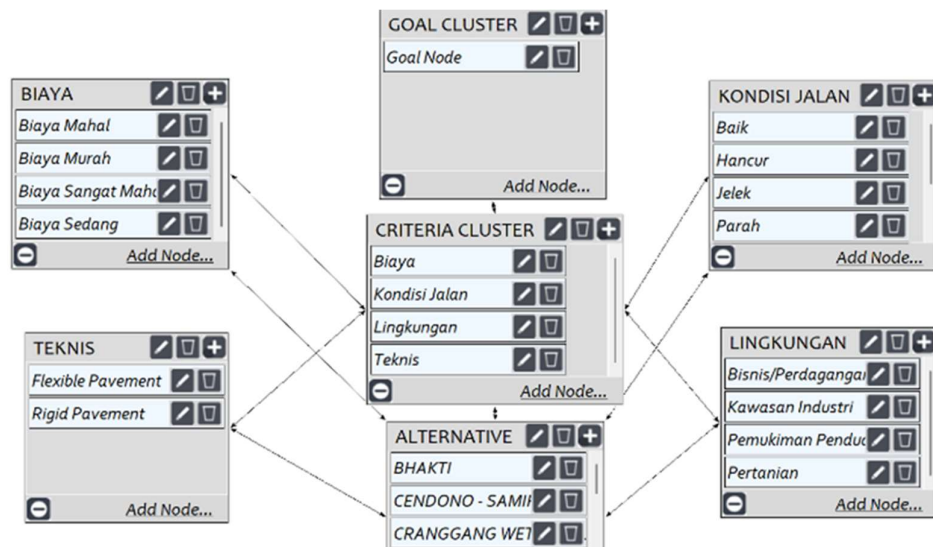
FP = *Flexible Pavement*

Metode *Analytic Network Process* (ANP) yang digunakan dalam penelitian ini disusun berdasarkan empat kriteria utama yang telah ditetapkan sebagai dasar analisis pengambilan keputusan. Hubungan yang kompleks antara kriteria, subkriteria, dan alternatif divisualisasikan melalui

model jaringan ANP, yang merepresentasikan keterkaitan serta pengaruh timbal balik antar elemen dalam sistem pengambilan keputusan yang bersifat interdependen.

Visualisasi model jaringan tersebut dihasilkan dengan menggunakan perangkat lunak *Super Decisions*, yang berfungsi untuk mempermudah analisis hubungan antar elemen dalam struktur jaringan. Secara keseluruhan, bentuk dan susunan model jaringan ANP tersebut dapat dilihat pada

**Gambar 2.**

















**Gambar 2.** Ketergantungan Model Jaringan ANP

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan menggunakan metode *Analytic Network Process* (ANP), diperoleh urutan skala prioritas untuk perbaikan jalan yang utama pada alternatif jalan. Hasil tersebut disajikan secara rinci yang

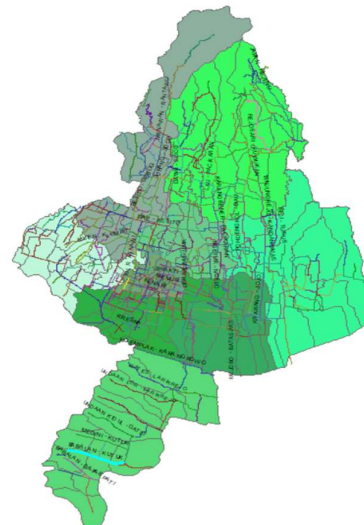
dapat dilihat pada **Tabel 19**. Pada tabel tersebut menunjukkan bobot prioritas masing-masing alternatif berdasarkan hasil perhitungan dan analisis jaringan keterkaitan antar kriteria.

**Tabel 19.** Urutan Skala Prioritas Perbaikan Jalan Dengan Metode ANP

No.	Ruas Jalan	Urutan Prioritas	Identitas	Keterangan	Nilai ANP
1	Jalan Kedungdowo - Garung Kidul	1	Lokasi 8		0,113
2	Jalan Kesambi - Jelak	2	Lokasi 7		0,096
3	Jalan Pohdengkol - Nosari	3	Lokasi 4		0,075
4	Jalan Honggosoco - Margorejo	4	Lokasi 10		0,073
5	Jalan Pelanggading - Rejosari	5	Lokasi 5		0,069
6	Jalan Cendono - Samirejo Kab. Kdengaudus	6	Lokasi 13		0,066
7	Jalan Puyoh - Bonajar - Soco	6	Lokasi 3		0,066
8	Jalan Cranggang Wetan - Kuwukan	6	Lokasi 12		0,066
9	Jalan Mayor Kusmanto	7	Lokasi 6		0,065
10	Jalan Subchan Ze	7	Lokasi 2		0,065
11	Jalan Kandangmas - Cranggang Wetan	8	Lokasi 9		0,064
12	Jalan Bhakti	9	Lokasi 14		0,063
13	Jalan Gebog - Menawan	10	Lokasi 11		0,061
14	Jalan Umk - Gondangmanis	11	Lokasi 1		0,059

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Analytic Network Process* (ANP) dengan 4 fungsi penilaian dalam proses perhitungan prioritas, diperoleh urutan pemilihan ruas jalan yang menjadi rekomendasi utama dalam perbaikan jalan. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa Jalan Kedungdowo – Garung Kidul dengan bobot 0,113 menempati prioritas pertama, dengan pertimbangan bahwa kebutuhan perbaikan pada ruas tersebut dapat direalisasikan dengan kebutuhan anggaran yang murah, lokasi di pemukiman penduduk, kondisi jalan parah dan jenis perbaikan menggunakan *rigid pavement* yang memiliki bobot tertinggi. Selanjutnya, Jalan Kesambi – Jelak dengan bobot 0,096 menempati prioritas pertama, dengan pertimbangan bahwa kebutuhan perbaikan pada ruas tersebut dapat direalisasikan dengan kebutuhan anggaran yang murah, lokasi pemukiman penduduk kondisi jalan jelek dan jenis perbaikan menggunakan *rigid pavement* yang memiliki bobot tertinggi. Kemudian, Jalan Pohdengkol – Nosari dengan bobot 0,075 ditetapkan sebagai prioritas ketiga, dengan pertimbangan bahwa kebutuhan perbaikan pada ruas tersebut dapat direalisasikan dengan kebutuhan anggaran yang murah, lokasi di pemukiman penduduk, kondisi jalan parah dan jenis perbaikan menggunakan *flexible pavement* yang memiliki priritas ke dua. Temuan ini mengindikasikan bahwa parameter lingkungan memiliki pengaruh paling dominan dalam proses pembobotan kriteria apabila dibandingkan dengan parameter lainnya yang digunakan dalam penelitian ini. Dengan bobot tertinggi yang diperoleh, maka aspek lingkungan dipandang sebagai faktor strategis dalam menentukan urgensi.Perbaikan ruas jalan, terutama dalam konteks mendukung keberlanjutan

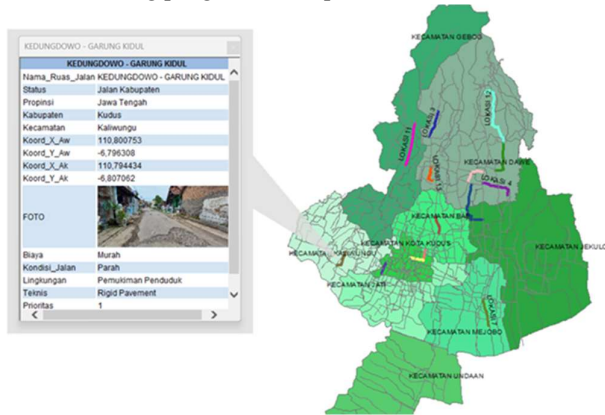
dan mitigasi dampak negatif terhadap wilayah sekitar.Secara keseluruhan, pemeringkatan terhadap seluruh 14 ruas jalan yang menjadi objek penelitian dapat dilihat secara rinci pada **Tabel 19**, yang menyajikan distribusi prioritas Perbaikan berdasarkan nilai akhir hasil sintesis ANP. Hasil ini diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan pemerintah daerah dalam menyusun kebijakan alokasi anggaran yang lebih efektif dan berorientasi pada peningkatan kualitas pelayanan jalan.

**Gambar 3.** Peta Ruas Jalan Sebelum *Overlay*

Tahap berikutnya adalah mengintegrasikan keluaran *Analytic Network Process* (ANP) ke dalam *Sistem Informasi Geografis* (SIG/GIS). Nilai prioritas yang dihasilkan dari ANP kemudian dimasukkan ke dalam atribut spasial pada attribute table, sehingga setiap segmen

jalan memiliki informasi numerik yang merepresentasikan tingkat kepentingannya. Atribut yang ditambahkan meliputi foto kondisi lokasi, biaya, kondisi fisik jalan, lingkungan, teknis, serta urutan prioritas berdasarkan hasil ANP.

Proses integrasi ini memungkinkan pemodelan spasial yang lebih komprehensif, karena data kuantitatif dari ANP dipadukan dengan representasi geografis pada GIS. Dengan demikian, **Gambar 3** dan **Gambar 4** menggambarkan bahwa model ANP telah terhubung secara langsung dengan platform GIS, sehingga analisis prioritas penanganan dapat divisualisasikan dalam bentuk peta tematik yang informatif dan mendukung pengambilan keputusan berbasis lokasi.



**Gambar 4.** Integrasi ANP dan GIS Ruas Jalan

#### 4. Simpulan

Penelitian ini menegaskan bahwa penerapan metode Analytic Network Process (ANP) yang diintegrasikan dengan Geographic Information System (GIS) merupakan pendekatan yang efektif untuk menentukan prioritas Perbaikan jalan di Kabupaten Kudus. Pendekatan ANP dipilih karena mampu mengakomodasi keterkaitan dan ketergantungan antar kriteria dalam proses pengambilan keputusan. Sementara itu, integrasi GIS memberikan kekuatan analisis spasial yang diperlukan untuk memetakan kondisi ruas jalan secara komprehensif dan berbasis lokasi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kriteria lingkungan menjadi faktor dengan bobot tertinggi sebesar 0,35, diikuti oleh aspek teknis sebesar 0,30, biaya sebesar 0,25, dan kondisi jalan sebesar 0,09. Dominannya aspek lingkungan menunjukkan bahwa setiap kegiatan perbaikan jalan perlu memperhatikan potensi dampak terhadap wilayah sekitar, sejalan dengan prinsip pengelolaan infrastruktur yang berkelanjutan. Berdasarkan pemeringkatan ANP terhadap 14 ruas jalan yang ditinjau, Jalan Kedungdowo–Garung Kidul ditetapkan sebagai prioritas pertama, dengan pertimbangan kondisi jalan yang rusak parah dengan

anggaran yang murah. Prioritas berikutnya pada Jalan Kesambi–Jelak dan Jalan Pohdengkol–Nosari, memiliki karakteristik yang sama dengan jalan Kedungdowo – Garung Kidul dengan kebutuhan perbaikan cepat dan biaya murah.

Secara keseluruhan, model analisis keputusan berbasis ANP–GIS ini terbukti dapat menghasilkan prioritas Perbaikan jalan yang lebih terstruktur, objektif, dan berbasis data sesuai kondisi kerusakan jalan dan anggaran biaya perbaikan. Dengan demikian, model tersebut dapat diimplementasikan sebagai Decision Support System (DSS) untuk mendukung pemerintah daerah dalam merumuskan strategi pemeliharaan jalan yang efektif, efisien, serta selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan dalam sektor transportasi.

#### Daftar Pustaka

- [1] S. S. Liu, M. F. A. Arifin, and W. T. Chen, "An Integrated Optimization Model for Life Cycle Pavement Maintenance Budgeting Problems," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 13884–13900, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3147465.
- [2] S. Mahmoudkelaye, K. Taghizade Azari, M. Pourvaziri, and E. Asadian, "Sustainable material selection for building enclosure through ANP method," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 9, p. e00200, 2018, doi: 10.1016/j.cscm.2018.e00200.
- [3] Saaty and L. G. Vargas, *The Analytic Hierarchy Process*, no. July. 1985. doi: 10.1016/b978-0-08-032599-6.50008-8.
- [4] I. J. Navarro, J. V. Martí, and V. Yepes, "Analytic Network Process-Based Sustainability Life Cycle Assessment of Concrete Bridges in Coastal Regions," *Sustain.*, vol. 14, no. 17, 2022, doi: 10.3390/su141710688.
- [5] R. Heydari, S. Fatholouloumi, M. Soltanbeygi, and M. K. Firozjaei, "A Sustainability-Oriented Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Framework for Optimizing Recreational Ecological Park Development," *Sustain.*, vol. 17, no. 2, pp. 1–27, 2025, doi: 10.3390/su17020731.
- [6] Z. Jiang, B. Montz, and T. Vogel, "Comprehensive Evaluation of Land Use Planning Alternatives Based on GIS-ANP," *Land*, vol. 12, no. 8, 2023, doi: 10.3390/land12081489.
- [7] F. Jiang, L. Ma, T. Broyd, K. Chen, H. Luo, and Y. Pei, "Sustainable road alignment planning in the built environment based on the MCDM-GIS method," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 87, no.

- September, p. 104246, 2022, doi: 10.1016/j.scs.2022.104246.
- [8] P. J. Gertler, M. Gonzalez-Navarro, T. Gračner, and A. D. Rothenberg, "Road maintenance and local economic development: Evidence from Indonesia's highways," *J. Urban Econ.*, vol. 143, no. July, p. 103687, 2024, doi: 10.1016/j.jue.2024.103687.
- [9] A. Goto and H. Nakamura, "Functionally Hierarchical Road Classification Considering the Area Characteristics for the Performance-oriented Road Planning," *Transp. Res. Procedia*, vol. 15, pp. 732–748, 2016, doi: 10.1016/j.trpro.2016.06.061.
- [10] F. Borghetti, G. Beretta, N. Bongiorno, and M. De Padova, "Road infrastructure maintenance: Operative method for interventions' ranking," *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 25, no. January, p. 101100, 2024, doi: 10.1016/j.trip.2024.101100.
- [11] E. J. Yoder and M. W. Witzak, *Principles of Pavement Engineering.pdf*. 1975.
- [12] S. Sukirman, *Diilsar-dasar Perencanaan Geometrft Jdan*. 1999.
- [13] F. Topaloğlu, "Analytic network process (ANP) based decision support tool for nuclear power plant location and reactor type selection," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 57, no. 3, 2025, doi: 10.1016/j.net.2024.09.031.
- [14] L. M. S. Farias, L. C. Santos, C. F. Gohr, and L. O. Rocha, "An ANP-based approach for lean and green performance assessment," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 143, no. July 2018, pp. 77–89, 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.12.004.
- [15] Z. Zhang *et al.*, "A cyberGIS-enabled multi-criteria spatial decision support system: A case study on flood emergency management," *Int. J. Digit. Earth*, vol. 12, no. 11, pp. 1364–1381, 2019, doi: 10.1080/17538947.2018.1543363.
- [16] Ahmed, S., Vedagiri, P., Krishna Rao, K.V., 2017. "Prioritization of pavement maintenance sections using objective based Analytic Hierarchy Process". *Int. J. Pavement Res. Technol.* 10, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.01.001>