JOURNAL FLYOVER (JFO)
Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana UMI
Vol. 05, No. 01 Tahun 2025
E-ISSN: 2829-5684

Evaluasi Tingkat Kerentanan Lereng Jalan dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)

(Studi Kasus: Ruas Lintas Utara Jalan Nasional Provinsi Gorontalo)

Reny Khairina Damayanti [1*], Asma Massara [2], Ilham Syafei [3]

1*) Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Gorontalo, Kementerian Pekerjaan Umum,
reny_khairina@yahoo.com
2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar
3) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

Road slope stability is an important aspect of transportation infrastructure constructions. Road slope failure can affect to infrastructure damage, traffic disruption, and even pose a safety risk. Road slope protection has many methods with relatively different costs. Therefore, the selection of an effective and efficient slope reinforcement method is very important. This research aims to assess the level of vulnerability of road slopes, evaluate the performance of several road slope reinforcement methods and conduct a decision-making analysis using the Multi Criteria Decision Making (MCDM) approach. The research used Analytical Hierarchy Process (AHP) to analyze the slope vulnerability level and select the suitable slope reinforcement type. The results showed that the level of vulnerability of road slopes in the research location varied, namely: Very Low category at 5 locations (13.51%), Low category at 10 locations (27.03%), Medium category at 8 locations (21.62%), High category at 11 locations (29.73%), and Very High category at 3 locations (8.11%).

Keywords: Analytical Hierarchy Process, Road, Slope Reinforcement.

Abstrak

Stabilitas lereng jalan merupakan aspek penting dalam pembangunan infrastruktur transportasi. Kegagalan lereng dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur, gangguan lalu lintas, dan bahkan menimbulkan risiko keselamatan. Penanganan lereng telah menawarkan banyak metode dengan biaya yang relatif berbeda. Oleh karena itu, pemilihan metode perkuatan lereng yang efektif dan efisien menjadi sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat kerentanan lereng jalan, mengevaluasi kinerja berbagai metode perkuatan lereng jalan dan melakukan pengambilan keputusan dengan menggunakan pendekatan Multi Criteria Decision Making (MCDM). Metode analisis yang digunakan adalah dengan menggunakan Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk mengenalisis penentuan tingkat kerentanan lereng Data penelitian dikumpulkan melalui studi literatur dan survei lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kerentanan lereng jalan di lokasi penelitian bervariasi yaitu: kategori Sangat Rendah sebanyak 5 titik (13,51%), Rendah sebanyak 10 titik (27,03%), Sedang sebanyak 8 titik (21,62%), Tinggi sebanyak 11 titik (29,73%), dan Sangat Tinggi sebanyak 3 titik (8,11%).

Kata Kunci: Analisis Hierarki Proses, Jalan, Tingkat Kerentanan Lereng.

1. PENDAHULUAN

Keberadaan sebuah lereng sering tidak dapat dihindari dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur jalan. Posisi lereng pada ruas jalan yang dibangun, menjadi bagian penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan, pelaksanaan dan pemanfaatan jalan tersebut. Kondisi lereng jalan, baik lereng atas atau pun lereng bawah yang ada di tebing sisi kiri-kanan badan jalan, harus mampu berada dalam kondisi yang stabil, sehingga jalan tersebut dapat berfungsi dengan baik, aman dan nyaman. Jalan tersebut haruslah

dibangun dengan kehandalan yang tinggi, biaya yang ekonomis dan memberikan resiko kegagalan yang kecil (Matondang & Damayanti, 2022).

Namun kejadian longsor di sebuah ruas jalan, yang disebabkan oleh bencana maupun akibat kegagalan pelaksanaan, seringkali tidak dapat dihindari. Longsor menjadi bencana ketiga yang paling banyak terjadi, yaitu sebesar 21,78% dari total bencana yang terjadi yang tercatat di Indonesia (BNPB, 2023). Sebagian besar kejadian longsor yang terjadi berdampak pada sekitar atau dalam wilayah daerah milik jalan (Damija) yang menyebabkan terjadinya penurunan fungsi layanan jalan hingga terjadinya kehilangan aset jalan nasional/daerah itu sendiri (Widiyatmoko & Purwantara, 2016).

Kerugian yang ditimbulkan oleh longsor pada infrastuktur jalan sangat besar, baik itu berupa kerugian langsung maupun kerugian tak-langsung. Kerugian langsung yang diderita antara lain rusaknya badan jalan, hilang harta benda masyarakat sekitar jalan, dan terputusnya jalur konektivitas infrastuktur masyarakat. Sedangkan kerugian tak-langsung yang dapat diderita antara lain kegiatan perekonomian masyarakat terganggu, masyarakat bisa jadi terisolasi, atau biaya transportasi yang jadi lebih mahal (Ma & Mei, 2021).

Longsor terjadi disebabkan oleh berbagai macam faktor pemicu, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Pemicu berdasarkan faktor internal disebabkan antara lain oleh faktor kemiringan lahan, posisi air tanah yang ada, perubahan sifat fisis dan mekanis tanah, dan jenis litologi batuan lereng tersebut. Sedangkan faktor ekternal antara lain oleh kejadian gempa, hujan intensitas tinggi, akibat aktifitas ekskavasi yang dilakukan oleh manusia, dan perubahan tata guna lahan (Azzmi, et al., 2011); (Samia, et al., 2017); (Abija, et al., 2019).

Beragam metode telah dilakukan untuk melakukan perlindungan terhadap ancaman longsor pada lereng jalan, seperti pembuatan dinding pasangan batu (gravity wall), pemasangan pemakuan tanah (soil nailing); perlindungan erosi permukaan dengan shotcrete, pembangunan mechanical stabilized earth (MSE) wall (Setiawan, et al., 2018), (Sharma, et al., 2021), (Hidayat, et al., 2023). Selain itu, perlindungan lereng juga dapat dilakukan secara eco-engineering, dengan melakukan perlindungan lereng menggunakan tanaman seperti pohon bambu, rumput Vetiver, dan rumput Grama Biru (Islam & Badhon, 2017), (Wang & Liu, 2018).

Banyaknya kejadian longsor yang terjadi pada sebuah ruas jalan, dan terbatasnya biaya pemerintah dalam mencegah, menangani dan menanggulanginya, membuat pemerintah harus menetapkan prioritas dalam penanganan bahaya dan potensi longsor (Al Kahfi, 2021), (Islam & Rahman, 2019). Keterbatasan dana dengan banyaknya tujuan fungsi dan lingkup penanganan, membuat pemerintah harus menetapkan prioritas dengan menggunakan pemodelan yang handal dalam pemilihan (Said & Syafei, 2021). Perhitungan biaya yang ekonomis dalam membangun bangunan perlindungan lereng akan sangat dibutuhkan pada lokasi dan tipe bangunan penanganan longsor yang akan kerjakan (Bari, et al., 2022). Oleh karena banyaknya faktor yang mempengaruhi atau memicu kejadian longsor serta beragamnya strategi perlindungan lereng yang dapat dipilih, maka perlu untuk mengkaji stabilitas lereng dengan menggunakan sebuah model pengambilan keputusan yang berbasis pada kriteria penilaian yang majemuk atau multi criteria decision making.

Model Multi Criteria Decision Making (MCDM) adalah metode yang digunakan untuk membantu dalam proses pengambilan keputusan yang melibatkan banyak kriteria. MCDM berguna ketika keputusan yang diambil harus mempertimbangkan berbagai alternatif yang sering kali saling bertentangan dan memiliki kriteria yang beragam. Tujuan utama dari MCDM adalah untuk memberikan pilihan, peringkat, dan klasifikasi alternatif untuk memperoleh hasil yang optimal (Asadabadi, 2018).

Mulliner, et al., (2016) menyatakan bahwa MCDM ini adalah seperangkat metode yang berfokus pada evaluasi alternatif berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Proses ini melibatkan beberapa langkah, yaitu: (1) menentukan kriteria penilaian; (2) memberikan

bobot nilai numerik tiap kriteria tersebut; dan (3) melakukan pengolahan data-data numerik yang telah diberikan. Beberapa metode MCDM yang biasa digunakan adalah Analytical Hierarchy Process (AHP), Analytical Network Process (ANP), dan Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE).

AHP sebagai salah satu bentuk MCDM adalah model yang menggunakan struktur hierarkis untuk memecah permasalahan kompleks menjadi elemen-elemen yang lebih kecil, yang disusun secara sistematis dari tujuan utama, kriteria, sub-kriteria, hingga alternatif pilihan. Proses ini memudahkan para pengambil keputusan untuk membandingkan setiap elemen dalam suatu tingkatan dengan cara berpasangan, sehingga menghasilkan bobot atau prioritas untuk setiap elemen berdasarkan penilaian subyektif dan data yang ada.

Proses ini membantu dalam memilih alternatif terbaik dengan mempertimbangkan berbagai kriteria dan sub-kriteria yang ada. Kelebihan utama dari AHP adalah kemampuannya untuk menggabungkan data kuantitatif dan kualitatif, serta kemampuannya untuk mempertimbangkan faktor subyektif dalam pengambilan keputusan. AHP banyak diterapkan dalam berbagai bidang, salah satunya di bidang asesmen longsor lereng jalan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi Tingkat Kerentanan Lereng Jalan Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) pada Ruas Lintas Utara Jalan Nasional Provinsi Gorontalo.

2. METODE

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah lereng-lereng yang terdapat di sepanjang jalan nasional yang berada pada Ruas Lintas Utara Jalan Nasional Provinsi Gorontalo **(Gambar 1)**.

Gambar 1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi yang memang membutuhkan analisis stabilitas lereng agar bisa memberikan nilai manfaat yang besar bagi masyarakat/pemerintah. Waktu pelaksanaan penelitian ini sejak dimulai penyusunan proposal penelitian hingga dilakukan ujian tutup penelitian membutuhkan waktu berkisar 6 bulan.

B. Kebutuhan dan Sumber Data

Penelitian yang baik adalah penelitian yang bisa dilakukan dengan ketersediaan data yang cukup dan komprehensif. Hal ini bertujuan agar analisis yang akan dilakukan nantinya bisa dilakukan seideal mungkin. Penelitian stabilitas lereng membutuhkan pengumpulan dan analisis data yang relevan untuk menentukan faktor keamanan lereng, yang merupakan indikator stabilitas lereng. Data yang dibutuhkan berupa data primer dan data sekunder (**Tabel 1**).

Data-data tersebut dikumpulkan baik dengan cara melakukan pengambilan/pengujian di lapangan, pendataan dan pengamatan langsung maupun dengan menggunakan data dari pihak lain baik berupa data dari penelitian-penelitian sebelumnya maupun data dari instansi yang ada kaitanya dengan penelitian yang dilakukan.

Tabel 1 Daftar Kebutuhan dan Jenis Data Penelitian

No.	Uraian	Asal data	Tipe data
1	Karakteristik geoteknis tanah (γ, ϕ, c, q_u, dll)	Ambil sampel dan uji *undisturb* di laboratorium	Primer
2	Geometri lereng yang direncanakan	Pengukuran topografi / visualisasi goole earth	Primer
3	Litologi dan stratigrafi tanah/batuan	Ambil sampel dan pengamatan lapangan	Primer dan Sekunder
4	Kondisi kemiringan lereng dan tutupan lahan	Digitasi peta DEM (*Digital Elevation Model*)	Sekunder
5	Data karakteristik hujan kawasan (intensitas, durasi, frekuensi)	Instansi BMKG, Pos Hujan SDA	Sekunder

C. Metode Analisis Data

Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan sebuah metode yang dipergunakan dalam melakukan evaluasi dan mengambil keputusan yang bersifat multi-kriteria. Metode Ini mengevaluasi beragam alternatif/variabel berdasarkan kriteria-kriteria yang berbeda dan memberikan pembobotan relatif untuk setiap alternatif tersebut. AHP memungkinkan pengguna untuk mengintegrasikan subjektivitas dan objektivitas dalam proses pengambilan keputusan dan membantu untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling penting dalam situasi yang kompleks.

Metode AHP ini diperkenalkan oleh seorang profesor asal Universitas Pittsbourg yang bernama Thomas L. Saaty pada periode 1971-1975 (Latifah, 2005). Metode ini dinilai handal membantu menyelesaikan masalah-masalah yang kompleks dalam menentukan dan mengambil keputusan. Menurut Saaty (1993), hirarki adalah bentuk keterwakilan dari sebuah permasalahan yang rumit pada sebuah susunan ragam tingkat (*multi-level*) di mana identifikasinya menyatakan bahwa tingkatan pertama adalah tujuan kemudian diikuti oleh tingkatan-tingkatan berikutnya berupa faktor, kriteria, sub-kriteria dan seterusnya hingga pada tingkatan terbawah yang masih dapat diklasifikasikan sebagai solusi untuk memecahkan permasalahan tersebut. Hirarki-hirarki masalah yang kompleks tersebut bisa diuraikan ke dalam pengelompokan yang jelas yang kemudian diatur untuk menjadi sebuah bentuk susunan sebagaimana sehingga permasalahan-permasalahan yang ada dapat terlihat terstruktur dan sistematis.

Pemecahan masalah yang baik harus dilandasi dengan pemahaman yang komprehensif terkait unsur-unsur yang diperbandingkan dan relevansinya dengan kriteria atau tujuan yang akan dicapai. Oleh karena itu dibutuhkan skala perbandingan unsur yang handal.

Setelah hirarki dibuat, setelah elemen yang terdapat dalam hirarki harus diketahui bobot relatifnya satu sama lain. Tujuannya adalah untuk mengetahui tingkat kepentingan pada pihak-pihak yang mengalami permasalahan terhadap kriteria dan struktur hirarki atau sistem secara keseluruhan. *Comparative judgement* dalam AHP muncul saat melakukan *pairwise comparison*, di mana tiap elemen dibandingkan satu per satu dengan elemen lainnya berdasarkan tingkat kepentingan relatif. Dengan demikian, AHP membantu menghindari bias keputusan karena setiap perbandingan didasarkan pada logika dan perhitungan matematis **(Tabel 2)**.

Tabel 2 Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan

Skala	Definisi	Keterangan
1	Sama pentingnya	Kedua elemen mempunyai pengaruh yang sama
3	Sedikit lebih penting	Pengalaman dan penilaian sangat memihak satu elemen dibandingkan dengan pasangannya
5	Lebih penting	Satu elemen sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata, dibandingkan dengan elemen pasangannya.
7	Sangat penting	Satu elemen terbukti sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat, dibandingkan dengan elemen pasangannya.
9	Mutlak lebih penting	Satu elemen mutlak lebih disukai dibandingkan dengan pasangannya, pada tingkat keyakinan tertinggi
2,4,6,8	Nilai tengah di antara dua pendapat yang berdampingan	Nilai-nilai ini diperlukan suatu kompromi
Kebalikan	Jika elemen i memiliki salah satu angka diatas ketika dibandingkan elemen j, maka j memiliki kebalikannya ketika dibanding elemen i```	

Sumber: Saaty (1993)

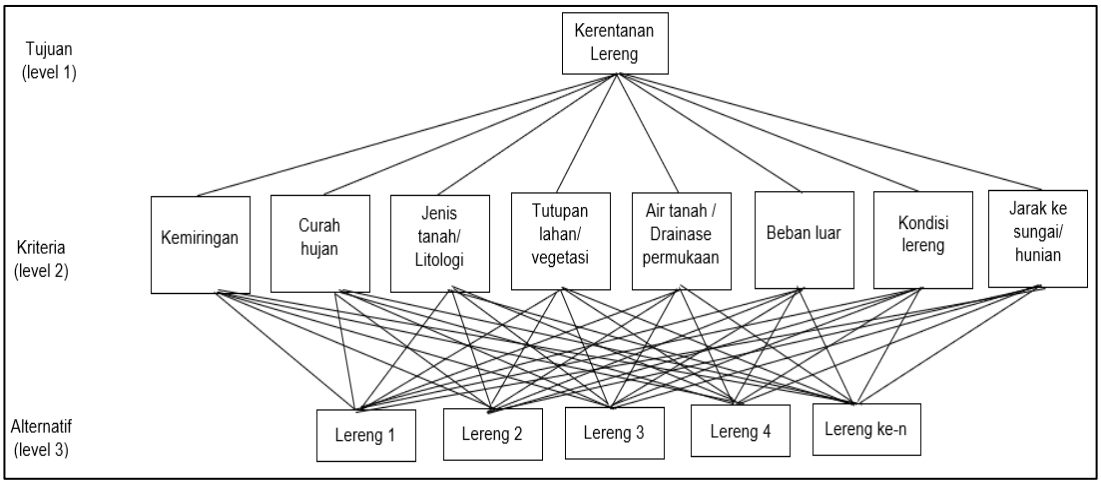
Synthesis of priority (sintesa prioritas). Setelah membuat matriks perbandingan berpasangan (*pair-comparatives*), maka selanjutnya akan dicari Eigen Vektornya untuk mendapatkan nilai atau bobot prioritas. Bobot prioritas ini memberikan gambaran terkait besar bobot dari masing-masing unsur matriks. Semakin besar bobot prioritasnya, maka semakin dinilai layaklah unsur matriks tersebut untuk digunakan sebagai solusi atas masalah yang ingin dipecahkan. Kemudian disajikan ilustrasi struktur hirarki untuk model MDCM dengan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dengan 8 kriteria dan n-jumlah alternatif **(Gambar 2)**.

Langkah-langkah dalam melakukan evaluasi multi kriteria dengan menggunakan analisis AHP adalah:

1. Mengidentifikasi permasalahan dan menentukan solusi yang ingin dibuat.
2. Membuat struktur hirarki, dalam struktur hirarki ini akan disusun dari level teratas sampai terbawah. Level teratas hirarki merupakan tujuan, lalu kriteria pengambilan keputusan, sub-kriteria, dan terakhir alternatif solusi.
3. Membuat matriks perbandingan berpasangan, kriteria yang telah didefinisikan akan diberi bobot dan dibandingkan berpasangan dalam bentuk matriks. Pada matriks ini akan ditentukan prioritas solusi.
4. Mendefinisikan perbandingan berpasangan.
5. Menghitung nilai eigen dari matriks perbandingan berpasangan, perhitungan nilai eigen ini dapat dilakukan dengan dua acara, yaitu:
    a. Mengkuadratkan matriks hasil perbandingan, lalu hitung jumlah nilai dari setiap baris dan lakukan normalisasi matriks.

b. Menjumlahkan nilai dari setiap kolom pada matriks perbandingan berpasangan, lalu bagi setiap nilai pada kolom dengan jumlah kolom terkait untuk mendapatkan normalisasi matrik. Setelah itu jumlahkan nilai dari setiap baris dan bagi dengan jumlah elemen untuk mendapatkan nilai rata-rata.

6. Menghitung nilai *vector eigen* dari masing-masing matriks perbandingan berpasagan, nilai eigen yang dihasilkan merupakan bobot dari setiap elemen yang akan digunakan untuk menentukan prioritas elemen pada struktur hirarki teratas.
7. Memeriksa konsistensi hirarki, pada Langkah ini rasio konsistensi dihitung dengan indeks konsistensi. Konsistensi rasio dikatakan benar jika hasilnya kurang dari sama dengan 10%, dan dikatakan salah jika hasilnya lebih dari 10%, jika hal ini terjadi maka penilaian data perlu diperbaiki dan ditinjau ulang.



Gambar 2 Ilustrasi struktur hirarki AHP

Melalui pengukuran persepsi atau perasaan secara langsung dan relatif, perbandingan berpasangan dapat dibuat. Hal ini seringkali tidak konsisten dengan preferensi pakar dalam perbandingan berpasangan. Penghitungan digunakan untuk mengevaluasi tes berpasangan *Consistency Ratio* (CR). Nilai CR maksimal yang bisa dianggap konsisten adalah 10 % (Saaty, 1983) Rumus perhitungan CR adalah sebagai berikut:

$$CR = \frac{CI}{Ri} \qquad (1)$$

Keterangan :
CR = *Consistency Ratio*
CI = *Consistency Index*
Nilai dari *Consistency Index* diperoleh dengan menggunakan rumus di bawah ini :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1)} \qquad (2)$$

Keterangan :
CI = *Consistency Index*
α = Nilai maksimal Eigen Value
n = Ukuran matriks

Matriks konsistensi menunjukkan bahwa CI memiliki nilai nol. Nilai pembangkit random (RI). Saaty menggunakan 500 sampel, jika pertimbangan numerik diambil dengan acak dimulai dari skala 1/9, 1/8, …,…1, 2, sampai 9 Kemudian matriks yang diperoleh adalah nilai rata-rata konsistensi memiliki berbagai ukuran, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3 Nilai Random Index (NRI)

Orde Matriks	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random Index	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,58

Sumber: (Saaty, 1993)

3. PEMBAHASAN

Lereng jalan merupakan bagian penting dari infrastruktur transportasi yang sangat rentan terhadap gangguan alam, salah satunya adalah tanah longsor. Hasil identifikasi lereng-lereng pada lokasi penelitian yang masuk dalam kewenangan Jalan Nasional Lintas Utara di Provinsi Gorontalo **(Tabel 4)**.

Tabel 4 Daftar lereng di Jalan Nasional ruas Lintas Utara

No	Kode Lereng	Lokasi	Panjang Lereng (m)	Koordinat	Posisi Lereng
1	L1	Atinggola - Kwandang	159	123.114564, 0.905876	Atas
2	L2	Atinggola - Kwandang	378	123.016364, 0.934075	Atas
3	L3	Molingkapoto - Tolango	135	122.805831, 0.825611	Bawah
4	L4	Tolango - Bulontio	30	122.714060, 0.865072	Bawah
5	L5	Tolango - Bulontio	40	122.648361, 0.944378	Atas-Bawah
6	L6	Tolango - Bulontio	528	122.67326, 0.916365	Atas
7	L7	Tolango - Bulontio	339	122.664177, 0.93366	Atas
8	L8	Tolango - Bulontio	173	122.648847, 0.942283	Bawah
9	L9	Tolango - Bulontio	453	122.600416, 0.947378	Atas
10	L10	Tolango - Bulontio	388	122.546757, 0.96487	Atas
11	L11	Tolango - Bulontio	313	122.529771, 0.97314	Atas
12	L12	Tolango - Bulontio	364	122.511417, 0.980074	Atas
13	L13	Bulontio - Tolinggula	260	122.245178, 0.970603	Atas-Bawah
14	L14	Bulontio - Tolinggula	340	122.244156, 0.973498	Atas-Bawah
15	L15	Bulontio - Tolinggula	427	122.244649, 0.974153	Atas
16	L16	Bulontio - Tolinggula	456	122.249562, 0.978528	Atas
17	L17	Bulontio - Tolinggula	60	122.252661, 0.983695	Bawah
18	L18	Bulontio - Tolinggula	135	122.255437, 0.986517	Atas-Bawah
19	L19	Bulontio - Tolinggula	375	122.377739, 0.989006	Atas
20	L20	Bulontio - Tolinggula	159	122.263949, 0.99068	Atas
21	L21	Bulontio - Tolinggula	100	122.260900, 0.991100	Atas
22	L22	Bulontio - Tolinggula	150	122.26462,0.991336	Atas
23	L23	Bulontio - Tolinggula	50	122.265474, 0.991581	Atas-Bawah
24	L24	Bulontio - Tolinggula	108	122.266092,0.991896	Atas
25	L25	Bulontio - Tolinggula	195	122.392316,0.994856	Atas
26	L26	Bulontio - Tolinggula	448	122.26892,0.995109	Atas
27	L27	Bulontio - Tolinggula	160	122.326335,0.995241	Atas
28	L28	Bulontio - Tolinggula	169	122.326327,0.995362	Atas
29	L29	Bulontio - Tolinggula	150	122.309403, 0.997353	Atas-Bawah
30	L30	Bulontio - Tolinggula	202	122.349764,0.998787	Atas
31	L31	Bulontio - Tolinggula	100	122.398080, 0.998900	Atas-Bawah
32	L32	Bulontio - Tolinggula	300	122.358836,1.000432	Atas
33	L33	Bulontio - Tolinggula	150	122.219948, 1.002423	Atas
34	L34	Bulontio - Tolinggula	109	122.15262,1.01864	Bawah
35	L35	Tolinggula - Desa Cempaka Putih	184	122.047377,0.976433	Bawah
36	L36	Tolinggula - Desa Cempaka Putih	162	122.087717,0.986665	Atas

No	Kode Lereng	Lokasi	Panjang Lereng (m)	Koordinat	Posisi Lereng
37	L37	Tolinggula - Desa Cempaka Putih	100	122.075986, 0.988922	Atas

Lereng-lereng pada **Tabel 4** di atas akan dievaluasi untuk mendapatkan nilai kerentanan lereng jalan. Proses penilaian ini dilakukan dengan melalui tahapan menentukan tujuan, menetapkan kriteria, menyusun struktur hirarki AHP, membuat matriks perbandingan berpasangan, menghitung bobot prioritas (*Eigen Vector*), uji konsistensi matriks, dan terakhir menghitung skor penilaian kerentanan lereng.

A. Matriks antar kriteria / *pairwise* penilaian kerentanan lereng

Langkah awal adalah dilakukan penyusunan matriks perbandingan berpasangan antar kriteria. Matriks ini disusun berdasarkan penilaian subjektif yang logis dan terukur terhadap sejauh mana satu kriteria lebih dominan dibandingkan kriteria lainnya dalam konteks tujuan penelitian. Melalui pendekatan ini, diperoleh gambaran yang sistematis mengenai kontribusi setiap kriteria terhadap keseluruhan keputusan atau evaluasi, yang selanjutnya menjadi dasar dalam proses normalisasi dan penentuan bobot prioritas masing-masing kriteria **(Tabel 5)**. Nilai-nilai yang terdapat pada **Tabel 5** merupakan nilai yang menjelaskan tingkat hubungan antar kriteria sesuai dengan ketentuan relasi yang ditetapkan oleh Saaty (1993) dalam prosedur analisis dengan menggunakan metode AHP.

Tabel 5 Matriks perbandingan antar kriteria kerentanan lereng

Kriteria	Kemiringan	Curah hujan	Kondisi lereng	Jenis tanah/ litologi	Kondisi air tanah/ sistem	Vegetasi/ tutupan lahan	Jarak lokasi ke hunian/	Beban luar
Kemiringan	**1.00**	2.00	3.00	5.00	4.00	7.00	5.00	7.00
Curah hujan	0.50	**1.00**	1.00	3.00	4.00	3.00	4.00	6.00
Kondisi lereng	0.33	1.00	**1.00**	1.00	3.00	2.00	5.00	4.00
Jenis tanah/litologi	0.20	0.33	1.00	**1.00**	3.00	3.00	3.00	4.00
Kondisi air tanah/sistem drainase	0.25	0.25	0.33	0.33	**1.00**	1.00	2.00	3.00
Vegetasi/tutupan lahan	0.14	0.33	0.33	0.33	1.00	**1.00**	1.00	3.00
Jarak lokasi ke hunian/sungai	0.20	0.25	0.20	0.33	0.50	0.50	**1.00**	1.00
Beban luar	0.14	0.17	0.25	0.25	0.33	0.33	1.00	**1.00**

B. Bobot prioritas (*Eigen Vector*) penilaian kerentanan lereng

Bobot prioritas diperoleh dengan menormalisasi hasil jumlah dari kolom matris antar kriteria. Hasil yang peroleh disajikan sebagai berikut:

[bobot prioritas] = [0,361; 0,188; 0,141; 0,089; 0.059; 0.056; 0,045; 0.034]. Nilai matriks bobot di atas akan dikalikan dengan matriks antar prioritas **(Tabel 6)**.

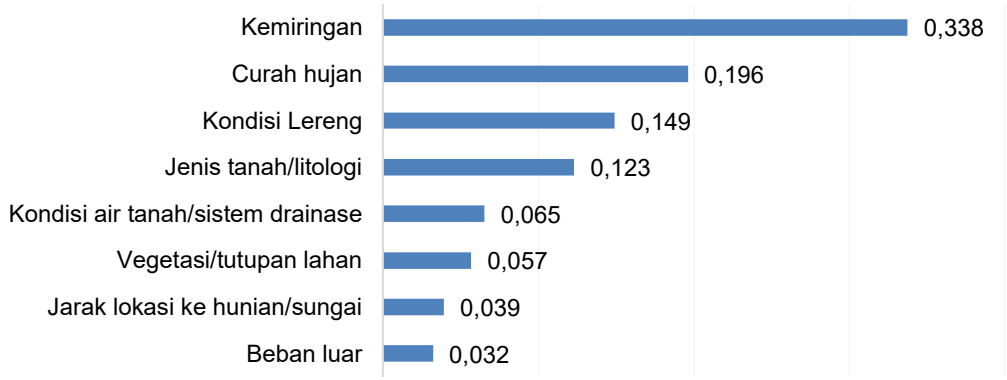
Tabel 6 Matriks Normalisasi perbandingan kriteria kerentanan lereng

Kriteria	Kemiringan	Curah hujan	Kondisi lereng	Jenis tanah/ litologi	Kondisi air tanah/ sistem drainase	Vegetasi/ tutupan lahan	Jarak lokasi ke hunian/ sungai	Beban luar
Kemiringan	0.361	0.38	0.42	0.44	0.24	0.39	0.23	0.24
Curah hujan	0.181	0.19	0.14	0.27	0.24	0.17	0.18	0.21
Kondisi lereng	0.120	0.19	0.14	0.09	0.18	0.11	0.23	0.14
Jenis tanah/litologi	0.072	0.06	0.14	0.09	0.18	0.17	0.14	0.14
Kondisi air tanah/sistem drainase	0.090	0.05	0.05	0.03	0.06	0.06	0.09	0.10
Vegetasi/tutupan lahan	0.052	0.06	0.05	0.03	0.06	0.06	0.05	0.10
Jarak lokasi ke hunian/sungai	0.072	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03
Beban luar	0.052	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03

Nilai-nilai yang di sajikan pada **Tabel 6** diperoleh dari hasil menormalisasi nilai di tiap **Tabel 5** terhadap jumlah atau akumulasi tiap kolom di **Tabel 5** tersebut. Sehingga **Tabel 6** di atas dikenal sebagai tabel normalisasi perbandingan kriteria.

Tiap baris **Tabel 6** di atas dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai bobot prioritas tiap kriteria yang dinormalisasi. Hasilnya adalah: [bobot prioritas normalisasi]' = [0,338; 0,169; 0,149; 0,123; 0.065; 0.057; 0,039; 0.032].

Nilai bobot prioritas yang telah dinormalisasi di atas adalah nilai bobot pengali untuk tiap kriteria-kriteria kerantanan longsor yang telah ditetapkan sebelumnya **(Gambar 3)**.



Gambar 3 Diagram bobot prioritas yang dinormalisasi (Eigen Vector) penilaian kerentanan lereng

Berdasarkan hasil analisis matriks perbandingan berpasangan (*pairwise*) pada Tabel 5 dan perhitungan bobot prioritas normalisasi pada Gambar 14 di atas, diketahui bahwa faktor yang paling dominan dalam menentukan tingkat kerentanan lereng adalah kemiringan lereng, dengan bobot tertinggi dibandingkan kriteria lainnya. Kemiringan secara langsung mempengaruhi stabilitas tanah dan potensi terjadinya longsor, terutama pada lereng yang curam. Faktor selanjutnya yang memiliki pengaruh signifikan adalah curah hujan, karena intensitas dan frekuensi hujan dapat mempercepat proses pelapukan tanah serta

meningkatkan tekanan air pori yang melemahkan kestabilan lereng. Kondisi lereng menempati urutan ketiga, mencerminkan pentingnya melihat kondisi lereng secara visual dalam penilaian kerentanan. Sementara itu, litologi atau jenis tanah, yang berkaitan dengan sifat fisik dan kekuatan material penyusun lereng, juga memiliki kontribusi yang cukup besar. Faktor-faktor lainnya seperti tutupan lahan (vegetasi), kondisi air tanah atau sistem drainase, beban luar, serta jarak terhadap permukiman atau sungai turut diperhitungkan meskipun bobotnya lebih rendah, namun tetap relevan dalam memberikan gambaran komprehensif terhadap kerentanan lereng secara keseluruhan.

C. Uji konsistensi data kriteria kerentanan lereng

Uji konsistensi dilakukan untuk memastikan bahwa penilaian dalam matriks perbandingan berpasangan bersifat logis dan konsisten secara internal. Hal ini penting agar bobot prioritas yang dihasilkan dapat diandalkan. Tingkat konsistensi diukur menggunakan rasio konsistensi (*Consistency Ratio/CR*), dan jika nilai CR kurang dari 0,1 (10%), maka penilaian dianggap konsisten dan dapat diterima untuk digunakan dalam analisis lebih lanjut. Berdasrkan hasil analisis, diperoleh λ_{max} = 8,52. Dengan ukuran matriks n = 8 sehingga nilai RI = 1,42 (sesuai **Tabel 3**), maka diperoleh nilai *Consistency Ratio* (CR) = 0,052. Nilai ini di bawah 0,1 sehingga disimpulkan bahwa nilai perbandingan berpasangan pada matriks di atas **(Tabel 6)** disimpulkan konsisten. Oleh karena itu, analisis selanjutnya berupa penilaian kerentanan lereng tiap lokasi lereng yang akan di analisis (**Tabel 7)** dapat dilanjutkan.

D. Evaluasi tingkat kerentanan lereng

Setelah nilai bobot prioritas diperoleh, maka selanjutnya akan dilakukan analisis dan penilaian tingkat kerentanan lereng pada lereng-lereng yang telah diidentifikasi sesuai pada daftar penilaian pada Tabel 4. Hasil analisis penilaian kerentanan lereng jalan pada ruas jalan lintas utara Jalan Nasional di Provinsi Gorontalo menunjukkan variasi tingkat kerentanan yang cukup signifikan, mulai dari kategori sangat rendah hingga sangat tinggi. Keragaman nilai ini mencerminkan kondisi geomorfologi dan karakteristik lingkungan yang bervariasi di sepanjang ruas jalan tersebut. Penentuan tingkat kerentanan ini didasari atas pembagian interval kelas ke dalam lima kategori. Artinya bobot penilaian 1-4 dibagi/distribusikan ke dalam lima kelas interval, yaitu kategori Sangat Rendah (1,0 – 1,59); kategori Rendah (1,6 – 2,19); kategori Sedang (2,2 – 2,79); kategori Tinggi (2,8 – 3,29) dan ketgori Sangat Tinggi (2,3 – 4).

Beberapa segmen jalan menunjukkan tingkat kerentanan yang tinggi akibat kombinasi kemiringan lereng yang curam, jenis tanah yang mudah longsor, intensitas curah hujan yang tinggi, serta kurangnya vegetasi pelindung. Sementara itu, segmen lain yang relatif landai, memiliki drainase yang baik, serta berada jauh dari badan air menunjukkan tingkat kerentanan yang jauh lebih rendah.

Variasi hasil sangat dimungkinkan karena lokasi jalan nasional tersebut membentang melalui dua karakteristik wilayah yang berbeda, yakni daerah perbukitan dan daerah pesisir pantai. Di wilayah perbukitan, faktor dominan seperti kemiringan lereng, litologi yang lemah, serta intensitas hujan yang tinggi berkontribusi besar terhadap peningkatan risiko kerentanan lereng. Oleh karena itu, hasil analisis ini memberikan gambaran penting bagi perencanaan penanganan risiko bencana longsor dan penguatan infrastruktur jalan, khususnya dalam konteks adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang kompleks dan heterogen. Guna memudahkan dalam mengidentifikasi lokasi lereng berdasarkan hasil penilaian, maka kami mengurutkan dari kondisi kerentanan yang sangat rendah sampai kondisi kerentanan yang sangat tinggi.

Tabel 7 Urutan tingkat kerentanan lereng

No	Kode Lereng	Lokasi	Total Skor AHP	Kategori
1	L25	Bulontio - Tolinggula	1.20	Sangat Rendah
2	L34	Bulontio - Tolinggula	1.20	Sangat Rendah
3	L7	Tolango - Bulontio	1.30	Sangat Rendah
4	L30	Bulontio - Tolinggula	1.36	Sangat Rendah
5	L24	Bulontio - Tolinggula	1.53	Sangat Rendah
6	L20	Bulontio - Tolinggula	1.77	Rendah
7	L19	Bulontio - Tolinggula	1.78	Rendah
8	L15	Bulontio - Tolinggula	1.90	Rendah
9	L6	Tolango - Bulontio	1.90	Rendah
10	L36	Tolinggula - Desa Cempaka Putih	1.94	Rendah
11	L22	Bulontio - Tolinggula	1.96	Rendah
12	L35	Tolinggula - Desa Cempaka Putih	1.96	Rendah
13	L2	Atinggola - Kwandang	2.00	Rendah
14	L16	Bulontio - Tolinggula	2.16	Rendah
15	L1	Atinggola - Kwandang	2.19	Rendah
16	L28	Bulontio - Tolinggula	2.20	Sedang
17	L32	Bulontio - Tolinggula	2.20	Sedang
18	L11	Tolango – Bulontio	2.31	Sedang
19	L9	Tolango - Bulontio	2.40	Sedang
20	L26	Bulontio - Tolinggula	2.43	Sedang
21	L12	Tolango - Bulontio	2.50	Sedang
22	L37	Tolinggula - Desa Cempaka Putih	2.71	Sedang
23	L8	Tolango - Bulontio	2.80	Sedang
24	L18	Bulontio - Tolinggula	2.87	Tinggi
25	L5	Tolango - Bulontio	2.89	Tinggi
26	L10	Tolango - Bulontio	2.90	Tinggi
27	L27	Bulontio - Tolinggula	2.91	Tinggi
28	L29	Bulontio - Tolinggula	2.91	Tinggi
29	L21	Bulontio - Tolinggula	2.97	Tinggi
30	L14	Bulontio - Tolinggula	3.00	Tinggi
31	L31	Bulontio - Tolinggula	3.04	Tinggi
32	L33	Bulontio - Tolinggula	3.18	Tinggi
33	L3	Molingkapoto - Tolango	3.21	Tinggi
34	L13	Bulontio - Tolinggula	3.27	Tinggi
35	L4	Tolango - Bulontio	3.53	Sangat Tinggi
36	L17	Bulontio - Tolinggula	3.56	Sangat Tinggi
37	L23	Bulontio - Tolinggula	3.79	Sangat Tinggi

Berdasarkan hasil analisis tingkat kerentanan lereng diperoleh distribusi sebagai berikut (Gambar 15): kategori Sangat Rendah sebanyak 5 titik (13,51%), Rendah sebanyak 10 titik (27,03%), Sedang sebanyak 8 titik (21,62%), Tinggi sebanyak 11 titik (29,73%), dan Sangat Tinggi sebanyak 3 titik (8,11%). Distribusi ini menunjukkan bahwa mayoritas segmen jalan berada pada tingkat kerentanan rendah hingga sedang, yang secara kumulatif mencakup lebih dari 62,16% total lokasi yang dianalisis. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar wilayah jalan memiliki kondisi lereng yang relatif stabil, namun tetap memerlukan perhatian khusus untuk mencegah peningkatan risiko akibat perubahan lingkungan atau pembangunan yang tidak terkendali.

Namun demikian, temuan adanya titik-titik dengan kerentanan tinggi hingga sangat tinggi (jumlah total 14 titik atau 37,84%) menunjukkan adanya potensi bahaya yang signifikan di beberapa segmen jalan. Titik-titik ini sebagian besar terletak pada kawasan perbukitan yang curam, memiliki sistem drainase air tanah yang kurang memadai, jenis tanah yang tidak stabil, serta kondisi vegetasi penutupan lahan sudah tidak baik lagi. Oleh karena itu,

rekomendasi teknis berupa perkuatan lereng, pengelolaan drainase, serta monitoring berkala sangat diperlukan untuk meminimalkan risiko longsor dan menjaga keberlanjutan fungsi Jalan Nasional sebagai jalur transportasi utama di wilayah utara Provinsi Gorontalo.

Lebih lanjut, meskipun sebagian besar segmen jalan berada dalam kategori rendah hingga sedang, namun terdapat pula segmen dengan tingkat kerentanan tinggi hingga sangat tinggi (37,84%), maka diperlukan serangkaian langkah strategis dan teknis untuk mengelola lereng dan mitigasi risiko secara komprehensif. Langkah awal yang dapat dilakukan adalah melakukan analisis nilai keamanan lereng kemudian melakukan perencanaan perlindungan lereng yang optimal.

Sedangkan, untuk segmen jalan dengan tingkat kerentanan sedang, perlu dilakukan tindakan mitigasi ringan hingga sedang, seperti penguatan vegetasi pelindung lereng, pembersihan saluran air, serta peningkatan pemeliharaan rutin. Pendekatan ini bertujuan untuk mencegah peningkatan tingkat kerentanan akibat degradasi lingkungan atau beban lalu lintas yang meningkat. Untuk area dengan kerentanan rendah hingga sangat rendah, meskipun tidak membutuhkan intervensi struktural yang besar, tetap perlu dilakukan monitoring berkala dan dokumentasi perubahan kondisi lereng, terutama pada musim hujan atau setelah terjadi gangguan alam.

Seluruh upaya mitigasi dan adaptasi ini perlu didukung oleh kebijakan lintas sektor yang melibatkan instansi teknis, pemerintah daerah, serta masyarakat lokal, agar penanganan risiko bencana dapat berjalan berkelanjutan dan bisa memberikan manfaat yang besar bagi masayarakat utamanya terkait konektivitas transportasi darat di Lintas Sulawesi.

4. PENUTUP

Penelitian ini berhasil mengevaluasi tingkat kerentanan lereng pada Ruas Lintas Utara Jalan Nasional Provinsi Gorontalo menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP), yang menunjukkan bahwa mayoritas titik berada pada kategori kerentanan rendah hingga sedang (62,16%), sementara sisanya termasuk dalam kategori tinggi hingga sangat tinggi (37,84%). Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar lereng relatif stabil, tetap terdapat segmen dengan potensi bahaya signifikan akibat faktor kemiringan, drainase buruk, jenis tanah labil, dan vegetasi yang rusak. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi mitigasi berjenjang—mulai dari monitoring dan pemeliharaan ringan hingga intervensi teknis seperti perkuatan lereng dan pengelolaan drainase—serta dukungan kebijakan lintas sektor untuk memastikan keberlanjutan fungsi jalan nasional sebagai jalur transportasi utama di wilayah utara Gorontalo.

5. DAFTAR PUSTAKA

Abija, F. A., Nwosu, J. I., Ifedotun, A. I. & Osadebe, C. C., 2019. Landslide susceptibility assessment of Calabar, Nigeria using Geotechnical, Remote Sensing and Multi-Criteria Decision Analysis: Implications for urban planning and development. Journal of Earth Sciences & Environmental Studies, 4(6), pp. 774-788.

Akbar, L. O. J., Lihawa, F. & Mahmud, M., 2021. Analisis Tipe dan Bidang Gelincir Longsor di Kabupaten Gorontalo Utara. Jambura Geoscience Review, 3(2), pp. 73-83.

Al Kahfi, M., 2021. Analisis Tingkat Bahaya Longsor pada Jalan Nasional untuk Prioritas Penanganan dengan Metode AHP: Studi Kasus Jalan pada SATKER PJN III dan PJN IV. Syntax Idea, 3(12), pp. 2638-2660.

Alifuddin, A., Alifuddin, A., Kasim, M. R., & Maruddin, M. (2024). PERMODELAN EMPAT TAHAPAN DALAM ANALISIS DAMPAK LALU LINTAS KAMPUS UNIVERSITAS ISLAM MAKASSAR. Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan, 7(1), 1–12. https://doi.org/10.24815/jarsp.v7i1.32267

Alifuddin, A., Kasim, M. R., & Said, L. B. (2024). Perilaku Rutting dan Modulus Kekakuan dengan Penguatan Serat Ijuk pada Campuran Beton Aspal. MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL, 29(2), 223–232. https://doi.org/10.14710/MKTS.V29I2.53190

Alwi, A., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2022). Analisis Uji Ketahanan Deformasi pada Campuran Aspal Beton dengan Bahan Tambah Anti Stripping Astive-05 terhadap Variasi Temperatur. Jurnal Flyover, 2(2), 111–122. https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1348

Ardika, J., Yunita, H., Sungkar, M. & Akmal, A. K., 2023. Analysis of Slope Stability on Subulussalam - Lipat Kajang Road. Aceh International Journal of Science and Technology, 12(1), pp. 96-103.

Asadabadi, M. R., 2018. The stratified multi-criteria decision-making method. Knowledge-Based Systems, Volume 162, pp. 115-123.

Available at: https://dibi.bnpb.go.id/kbencana2

Azzmi, N. N., Noor, M. N. & Jamaludin, N., 2011. Geotechnical Approaches for Slope Stabilization in Residential Area. Malaysia, Procedia Engineering 20, pp. 474-482.

Bari, F. et al., 2022. Optimal Cost of Slope Stabilization With Retaining Wall. International Journal of GEOMATE, 22(93), pp. 83-90.

BNPB, 2023. Statistik Bencana Menurut Jenis. [Online]

Das, B. M. & Sobhan, K., 2010. Principles of Geotechnical Engineering. Stamford, Connecticut. USA: Cengage Learning.

Das, B. M., 1995. Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). 1 ed. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Das, B. M., 2002. Principles of Geotechnical Engineering. 5th Edition ed. Pacific Grove, California: PWS Publishing.

Duncan, J. M., Wright, S. G. & Brandon, T. L., 2014. Soil Strength and Slope Stability. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.

Espino, D. J., Lopez, E. C., Hernandez, J. R. & Jordana, J. C. C., 2014. A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. Automation in Construction, Volume 45, pp. 151-162.

finesoftware, 2024. https://www.finesoftware.eu/. [Online].

Hamsir, R., Said, L. B., Syarkawi, M. T., & Kasim, M. R. (2024). Kajian Hambatan Samping terhadap Kinerja Ruas pada Kawasan Komersil (Studi Kasus: Jalan Boulevard Kota Makassar). Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN), 7(4), 2252–2261. https://doi.org/10.31004/JUTIN.V7I4.34336

Hardiyatmo, H. C., 2003. Mekanika Tanah II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Haslindah, Basri Said, L., & Syafei, I. (2021). Prioritas Penanganan Ruas Jalan Nasional di Pulau Sumba dengan Metode Analytical Hierarchy Proses (AHP). Jurnal Flyover, 1(2), 17–27. https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.747

Hidayat, W., Sudisman, A. R. & Aristo, A., 2023. Perencanaan dan Analisis Perkuatan Lereng Menggunakan Fondasi Micropiles. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 21(2), pp. 129-136.

Hidayat, W., Sudisman, R. A. & Aristo, A., 2023. Perencanaan dan Analisis Perkuatan Lereng Menggunakan Fondasi Micropiles. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 21(2), pp. 129-136.

Islam, M. S. & Badhon, F. F., 2017. Sandy Slope Stability Using Vegetation. Dhaka, Bangladesh, Researchgate.

Islam, M. S. & Rahman, A., 2019. Slope Stability Problem and Bio-engineering Approach on Slope Protection: Case Study of Cox's Bazar Area, Bangladesh. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 50(4), pp. 39-46.

Jihad, A., Kadir, H., & SAR, M. (2023). Analisis Kinerja Bukaan Median U – Turn Ruas Jalan Veteran Utara. Jurnal Flyover, 3(2), 60–68. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I2.1530

Jihad, A., Kasim, M. R., B, B., & Mahendra, M. I. (2023). ANALISIS TINGKAT KERUSAKAN FLEXIBLE PAVEMENT DENGAN MENGGUNAKAN METODE SURFACE DISTRESS INDEX (SDI) DALAM PENENTUAN PENANGANAN JALAN. Jurnal Cahaya Mandalika ISSN 2721-4796 (Online), 3(2), 1825–1831. https://ojs.cahayamandalika.com/index.php/jcm/article/view/2417

Kasim, M. R., & Gunawan, A. B. (2022). Evaluasi Skala Pelayanan dan Rencana Penambahan Halte untuk Pengembangan Transportasi Multimoda di Kota Makassar. Jurnal Teknik Sipil, 29(1), 99–106. https://doi.org/10.5614/JTS.2022.29.1.10

Kasim, M. R., & Jihad, A. (2024). Analisis Integrasi Angkutan Kota sebagai Feeder Angkutan Bus Trans Mamminasata Berdasarkan Tujuan dan Sebaran Pergerakan. Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi, 6(01), 99–112. https://doi.org/10.53863/KST.V6I01.1015

Kasim, M. R., Akram, A. M., Ramadhan, R., & Fauzan, A. (2023). Analisis Integrasi Angkutan Kota sebagai Feeder Angkutan Bus Trans Mamminasata. Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia, 8(6), 3962–3974. https://doi.org/10.36418/SYNTAX-LITERATE.V8I6.12441

Kasim, M. R., Alifuddin, A., Maruddin, M., & Burhanuddin, M. S. (2023). PENGARUH PARKIR ON STREET TERHADAP DERAJAT KEJENUHAN JALAN KH RAMLI KOTA MAKASSAR. Menara: Jurnal Teknik Sipil, 18(2), 87–95. https://doi.org/10.21009/JMENARA.V18I2.35495

Kasim, M. R., Anies, M. K., & Springfield, D. (2021). Parking and Queue Analysis (Case study : New Sport Center in Kepanjen, Malang Regency). International Journal of Innovative Science and Research Technology , 6(7).

Kasim, M. R., Waloejo, B. S., & Agustin, I. W. (2019). Comparative Study of BRT and Multimodal Transportation in Makassar City and Rio de Jenairo City. International Journal of Innovative Science and Research Technology , 4(12).

Latifah, S., 2005. Prinsip-prinsip Dasar Analytical Hierarchy Process. Medan, Sumatera Utara: Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.

Lee, S., Song, K. Y., Oh, H. J. & Choi, J., 2012. Detection of Landslides using Web-Based Aerial Photographs and Landslide Susceptibility Mapping using Geospatial Analysis. International Journal of Remote Sensing, 33(16), pp. 4937-4966.
Ma, Z. & Mei, G., 2021. Deep learning for geological hazards analysis: Data, models, applications, and opportunities. Journal of Earth-Science Reviews, pp. 1-33.
Maloho, C., Maryati, . S. & Hutagalung, R., 2023. Zonasi Longsor di Desa Talumelito, Kecamatan Telaga Biru, Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo. Journal of Geoscience Engineering end Energy (JOGEE), 4(2), pp. 142-149.
Marzuki, M. (2023). Analisis Kinerja pada Ruas Jalan Samratulangi dan Jalan M. Supratman Kota Kendari Sulawesi Tenggara. Jurnal Flyover, 3(2), 96–108. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I2.1635
Matondang, M. A. & Damayanti, R. K., 2022. Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganan pada Longsoran di ruas Jalan Bulontio - Tolinggula STA 32+444. Bogor, Himpunan, pp. 1-11.
Misdawati, Said, L. B., & H, S. M. (2021). Analisis Penurunan Umur Rencana Jalan Akibat Volume Kendaraan dan Kelebihan Muatan Pada Ruas Jalan Jend. Ahmad Yani Kota Parepare. Jurnal Flyover, 1(2), 38–47. https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.749
Montgomery, C. W., 2006. Environmental Geology. 8th ed. New York: McGraw-Hill Companies INC.
Mulliner, E., Malys, N. & Maliene, V., 2016. Comparative analysis of MCDM methods for the assessment of sustainable housing affordability. Omega, Volume 59 Part B, pp. 146-156.
Mulyo, S. A., Said, L. B., & H, S. M. (2023). Analisis Pemeliharaan Jalan Nasional dengan Metode Bina Marga dan PCI Pada Ruas Jalan Slamet Riyadi Kota Samarinda. Jurnal Flyover, 3(1), 51–59. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I1.1508
Murthy, V. N. S., 2014. Textbook of Soil mechanics and Foundation Engineering: Geotechnical Engineering series. New Delhi: CBS Publishers and Distributors Pvt Ltd.
Murti, A. W., 2023. Analisis Perbandingan Alternatif Perkuatan Stabilitas Lereng pada Rest Area Jalan Tol Semarang - Solo, Semarang: Fakultas Teknik.
Muzani, 2021. BENCANA TANAH LONGSOR Penyebab dan Potensi Longsor. Yogyakarta: deepublish.
Oborie, E. & Abija, F. A., 2019. Slope stability analysis of the Afaha Ekpenedi integrated analysis of the Afaha Ekpenedi integrated. Abuja, s.n., p. 27.
Othman, A. N., Naim, W. M. & Noraini, S., 2012. GIS Based Multi-Criteria Decision Making for Landslide Hazard Zonation. Famagusta, North Cyprus, Elsevier, p. 595–602.
Ryskandi, 2003. Prospek usaha tani jagung sebagai tanaman sela di antara tegakan kelapa. Buletin Teknik Pertanian, 8(2), pp. 55-59.
Saaty, T. L., 1993. Pengambilan Keputusan Bagi Para Pemimpin, Proses Hirarki Analitik untuk Pengambilan Keputusan dalan Situasi yang Kompleks. Jakarta: PT. Pustaka Binaman Pressindo.
Said, L. B. & Syafei, I., 2021. Prioritas Penanganan Ruas Jalan Nasional di Pulau Sumba dengan Metode Analytical Hierarchy Proses (AHP). Jurnal Flyover, 1(2), pp. 17-27.
Said, L. B., Arifin, W. & Alidin, 2020. Model Penanganan Longsoran Tebing Pegunungan Berbatu untuk Pengamanan Jalan Nasional. INTAKE Jurnal Penelitian, 7(1), pp. 104-112.
Samia, J. et al., 2017. Do landslides follow landslides? Insights in path dependency from a multi-temporal landslide inventory. Landslides, Volume 14, pp. 547-558.
Sari, M., Toyfur, M. T. & Hadinata, F., 2021. Indeks dan Tingkat Risiko Bahaya Longsor pada Ruas Jalan Nasional di Kabupaten Kerinci dan Kota Sungai Penuh, Provinsi Jambi. Cantilever, 10(1), pp. 53-61.
Setiawan, L. C., Sentosa, S. G. & Iskandar, A., 2018. Analisis Stabilitas Lereng Batuan dengan Metode Perkuatan Ground Anchor dan Soil Nailing di Labuan Bajo, NTT. Jurnal Mitra Teknik Sipil, Volume 1, pp. 102-110.
Sharma, D., Dhital, B. & Suberi, T., 2021. Stabilization of Road Slope failure by Soil Nailing Technique with Shotcrete Frame: A Case Study of Right Bank Slope at Telegangchu Bridge Construction Project, Trongsa. GNH Journal of Construction Technology & Management, 3(2), pp. 23-27.
Suminar, L., Kasim, M. R., & Tasywiq, A. M. M. (2024). Measuring urban walkability index in Surakarta historic district to promote sustainable mobility. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1394(1), 012034. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1394/1/012034
Umar, M. F., Said, L. B., & Syafei, I. (2023). Kajian Kinerja dan Solusi Manajemen Penanggulangan Simpang Tak Bersinyal. Jurnal Flyover, 3(1), 11–18. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I1.1469
Utama, K. A., 2023. Geoteknik dalam Perencanaan Tata Ruang. In: Ilmu Geoteknik. Makassar: Get Press Indonesia, p. 153.
Van Westen, C. J., 1993. Application of geographic information systems to landslide hazard zonation. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede.
Wang, Y. & Liu, X., 2018. Plant Slope Protection in Highway Engineering. San Francisco, CA, IOP Publishing.
Widiyatmoko, W. & Purwantara, S., 2016. Identifikasi Gerakan Massa Terhadap Kerusakan Jalan Raya Sukorejo-Waleri Kilometer 6-16 Kabupaten Kendal. Geomedia, 14(2), pp. 77-85.
Yunus, T. W., H, St. M., & Said, L. B. (2021). Analisis Kinerja Ruas Jalan Akibat Pembangunan Saluran dan Trotoar Pada Kawasan Jalan Nusantara dan Jalan Sulawesi. Jurnal Flyover, 1(1), 33–40. https://doi.org/10.52103/JFO.V1I1.659