KAJIAN RISIKO INFRASTRUKTUR JALAN POROS TRANS KALIMANTAN UTARA, KEC. TANJUNG PALAS AKIBAT BENCANA TANAH LONGSOR (MENGGUNAKAN METODE AHP DAN GIS)

SKRIPSI



Disusun Oleh:

NUR AFHIFAH AZAHRO

NPM: 202212006

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KALTARA

2026

KAJIAN RISIKO INFRASTRUKTUR JALAN POROS TRANS KALIMANTAN UTARA, KEC. TANJUNG PALAS AKIBAT BENCANA TANAH LONGSOR (MENGGUNAKAN METODE AHP DAN GIS)

SKRIPSI



Disusun Oleh:

NUR AFHIFAH AZAHRO

NPM: 202212006

SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KALTARA

2026





KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal/skripsi yang berjudul "Kajian Risiko Infrastruktur Jalan Poros Trans Kalimantan Utara, Kec. Tanjung palas Akibat Bencana Tanah Longsor Menggunakan Metode AHP dan GIS" dengan baik.

Penyusunan proposal/skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada program studi yang penulis tempuh. Dalam proses penyusunan laporan ini, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya yang tiada henti mengiringi setiap langkah penulis. Penulis meyakini bahwa setiap kemudahan, kekuatan, kesabaran, serta keteguhan hati dalam menghadapi berbagai tantangan selama penyusunan skripsi ini merupakan bentuk kasih sayang dan pertolongan dari Allah SWT. Dengan izin dan ridha-Nya, skripsi ini akhirnya dapat diselesaikan sebagai salah satu bentuk ikhtiar dalam menuntut ilmu.
2. Almarhum Bapak Syamsul Bahar, ayah tercinta yang semasa hidupnya telah memberikan kasih sayang, doa, dukungan, dan pengorbanan yang begitu besar bagi penulis. Berkat kerja keras, dan kepercayaan yang ayah berikan, penulis memperoleh kesempatan untuk melanjutkan pendidikan hingga jenjang perguruan tinggi. Meskipun Allah SWT telah memanggil Ayah terlebih dahulu sebelum penulis menyelesaikan studi ini, semangat, ketulusan, dan perjuangan Ayah senantiasa menjadi sumber kekuatan bagi penulis untuk terus bertahan, bangkit, dan menyelesaikan setiap proses hingga skripsi ini dapat terselesaikan. Terima kasih atas setiap tetes keringat, pengorbanan, dan kasih sayang yang telah Ayah berikan demi masa depan penulis. Semoga Allah SWT menerima seluruh amal ibadah Ayah, mengampuni segala khilafnya, melapangkan alam kuburnya, serta menempatkan Ayah di tempat terbaik di sisi-Nya. Skripsi ini

penulis persembahkan sebagai wujud rasa syukur, bakti, bukti janji, dan terima kasih atas seluruh perjuangan Ayah yang akan selalu hidup dalam hati penulis.

3. Ibu Ainun Salbiah, ibu tercinta yang menjadi sosok luar biasa dalam kehidupan penulis. Terima kasih atas kasih sayang, doa, pengorbanan, serta keteguhan hati yang tidak pernah putus. Setelah kepergian Almarhum Bapak, Ibu dengan penuh keikhlasan dan keberanian mengambil peran sebagai tulang punggung keluarga, rela bekerja keras tanpa mengenal lelah demi memastikan cita-cita penulis untuk menyelesaikan pendidikan tidak terhenti. Setiap tetes keringat, pengorbanan, dan usaha Ibu menjadi kekuatan terbesar bagi penulis untuk terus berjuang hingga akhirnya mampu menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa tidak ada kata yang mampu membalas seluruh pengorbanan dan cinta yang telah Ibu berikan. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, keberkahan umur, kebahagiaan, serta membalas setiap pengorbanan Ibu dengan pahala yang berlipat ganda. Skripsi ini penulis persembahkan sebagai wujud rasa syukur, bakti, dan terima kasih atas segala perjuangan Ibu.
4. Dr. Didi Adriansyah, S.T.P., M.M, selaku Rektor Universitas Kaltara Tanjung Selor, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan di Universitas Kaltara.
5. Ir. Enny Harviyanti, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Kaltara Tanjung Selor, sekaligus Dosen Pembimbing Skripsi, yang telah dengan penuh kesabaran membimbing, mengarahkan, memberikan kritik dan saran yang membangun, serta membagikan ilmu dan pengalaman kepada penulis selama proses penyusunan skripsi. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas waktu, perhatian, motivasi, dan dedikasi yang telah Ibu berikan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kaltara, sekaligus Dosen Penguji I, yang telah memberikan perhatian, masukan, kritik, saran, serta arahan yang sangat bermanfaat bagi penulis selama proses penyusunan dan penyempurnaan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih atas ilmu, motivasi, dan waktu yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

7. Bapak Arman, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II, yang telah memberikan kritik, saran, masukan, serta arahan yang membangun kepada penulis selama proses ujian skripsi. Penulis mengucapkan terima kasih atas ilmu, perhatian, dan waktu yang telah Bapak berikan sehingga skripsi ini dapat disempurnakan dan diselesaikan dengan baik.
8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan.
9. Seluruh Staf Universitas Kaltara mulai dari bagian Rektorat, Akademik, maupun Jurusan yang memberikan kemudahan dan kelancaran dalam proses penyusunan proposal skripsi.
10. Teman-teman seperjuangan dan semua pihak yang telah memberikan semangat, bantuan, dan kebersamaan selama proses penyusunan skripsi dan selama perkuliahan.
11. Terakhir, kepada diri penulis sendiri**,** terima kasih telah bertahan dan tidak menyerah hingga skripsi ini dapat diselesaikan. Berbagai ujian kehidupan yang datang selama proses ini menjadi pelajaran untuk terus tumbuh, bersabar, dan percaya bahwa setiap perjuangan yang diiringi doa dan usaha tidak akan pernah sia-sia.

Dalam penulisan Proposal Skripsi ini saya menyadari masih banyak memiliki kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga proposal/skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi tambahan wawasan.

Tanjung Selor, Juli 2026

Penyusun

NUR AFHIFAH AZAHRO

NPM. 202212006

Nur Afhifah Azahro
202212006
Departemen Teknik Sipil

Dosen Pembimbing
Ir. Enny Harviyanti, S.T., M.T

KAJIAN RISIKO INFRASTRUKTUR JALAN POROS TRANS KALIMANTAN UTARA, KEC. TANJUNG PALAS AKIBAT BENCANA TANAH LONGSOR (MENGGUNAKAN METODE AHP DAN GIS)

ABSTRAK

Ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan merupakan infrastruktur strategis yang memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap bencana tanah longsor akibat kondisi topografi yang curam, curah hujan tinggi, karakteristik geologi, serta penggunaan lahan di sekitar jalan. Kondisi tersebut berpotensi mengganggu fungsi pelayanan jalan dan keselamatan pengguna jalan sehingga diperlukan kajian risiko sebagai dasar dalam penyusunan prioritas mitigasi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat risiko tanah longsor, mengidentifikasi distribusi spasial tingkat risiko, serta menetapkan zona prioritas penanganan melalui integrasi metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Geographic Information System* (GIS).

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode AHP untuk menentukan bobot kepentingan dari 12 parameter yang dikelompokkan ke dalam tiga variabel, yaitu bahaya *(hazard)*, kerentanan (*vulnerability*) dan keterpaparan *(exposure)*. Pembobotan dilakukan berdasarkan penilaian lima responden ahli. Selanjutnya, bobot Level 2 (L2) hasil AHP diintegrasikan ke dalam analisis spasial menggunakan metode *Weighted Overlay* pada perangkat lunak GIS untuk menghasilkan peta tingkat risiko tanah longsor dan zona prioritas penanganan.

Hasil pembobotan kumulatif AHP menunjukkan bahwa parameter aktivitas sosial ekonomi (18%)**,** kepadatan penduduk (16%)**,** dan volume lalu lintas harian rata-rata (15%) merupakan parameter yang memiliki tingkat kepentingan tertinggi dalam analisis risiko tanah longsor. Berdasarkan bobot Level 2 (L2) yang digunakan dalam analisis GIS, diperoleh nilai indeks risiko tanah longsor berkisar antara 4,54 hingga 5,39**,** yang diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu risiko rendah (4,54–4,82)**,** risiko sedang (>4,82–5,10)**,** dan risiko tinggi (>5,10–5,39). Distribusi spasial menunjukkan bahwa Segmen 1 didominasi oleh kelas risiko rendah, Segmen 2 didominasi oleh kelas risiko tinggi, sedangkan Segmen 3 berada pada kelas risiko sedang hingga tinggi. Berdasarkan hasil tersebut, Segmen 2 dan Segmen 3 ditetapkan sebagai Zona Prioritas I, sedangkan Segmen 1 ditetapkan sebagai Zona Prioritas II. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam penentuan prioritas mitigasi bencana serta pengelolaan infrastruktur jalan berbasis risiko di Kabupaten Bulungan.

Kata Kunci: Risiko longsor, *Analytical Hierarchy Process* (AHP), *Geographic Information System* (GIS).

Nur Afhifah Azahro
202212006
Department of Civil Engineering

Dosen Pembimbing
Ir. Enny Harviyanti, S.T., M.T

LANDSLIDE RISK ASSESSMENT OF THE NORTH KALIMANTAN TRANS HIGHWAY INFRASTRUCTURE IN TANJUNG PALAS DISTRICT, BULUNGAN REGENCY, USING THE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS)

ABSTRACT

The Trans North Kalimantan Highway in the Sungai Urang area, Tanjung Palas District, Bulungan Regency, is a strategic transportation infrastructure with a high susceptibility to landslides due to steep topography, high rainfall, geological characteristics, and the surrounding land use. These conditions have the potential to disrupt road functionality and endanger road users, making landslide risk assessment essential as a basis for determining mitigation priorities. This study aims to determine the level of landslide risk, identify the spatial distribution of landslide risk, and establish priority mitigation zones through the integration of the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the Geographic Information System (GIS).

This study employed a quantitative approach using the AHP method to determine the relative weights of 12 parameters grouped into three variables: hazard, vulnerability, and exposure. The weighting process was based on the judgments of five expert respondents. Subsequently, the Level 2 (L2) weights derived from the AHP analysis were integrated into a spatial analysis using the Weighted Overlay method within a GIS environment to produce landslide risk maps and priority mitigation zones.

The cumulative AHP weighting results indicate that socio-economic activities (18%), population density (16%), and average daily traffic (ADT) (15%) are the most influential parameters in the landslide risk assessment. Based on the Level 2 (L2) weights applied in the GIS analysis, the landslide risk index ranged from 4.54 to 5.39, which was classified into three categories: low risk (4.54–4.82), moderate risk (>4.82–5.10), and high risk (>5.10–5.39). The spatial distribution analysis revealed that Segment 1 was predominantly classified as low risk, Segment 2 was dominated by high risk, while Segment 3 was classified as moderate to high risk. Based on these findings, Segments 2 and 3 were designated as Priority Zone I, whereas Segment 1 was designated as Priority Zone II. The findings of this study are expected to serve as a basis for determining landslide disaster mitigation priorities and implementing risk-based road infrastructure management in Bulungan Regency.

Keywords*: landslide disaster, landslide risk, Analytical Hierarchy Process (AHP), Geographic Information System (GIS).*

DAFTAR ISI

COVER .....
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ii
PENGESAHAN iii
KATA PENGANTAR iv
ABSTRAK vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR RUMUS xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Masalah 4
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Definisi dan Konsep Dasar Risiko Bencana 7
2.2 Pengertian Tanah Longsor 8
2.2.1 Faktor Penyebab Tanah Longsor 8
2.2.2 Klasifikasi Jenis Tanah Longsor 11
2.3 Komponen Risiko Bencana 15
2.3.1 Bahaya (*Hazard*) 16
2.3.2 Kerentanan (*Vulnerability*) 19
2.3.3 Keterpaparan (*Exposure*) 22
2.4 Dasar Perhitungan Variabel Penelitian 25
2.4.1 Perhitungan Variabel Bahaya 25

2.4.2 Perhitungan Variabel Kerentanan 28
2.4.3 Perhitungan Variabel Keterpaparan 33
2.5 Klasifikasi dan Skoring Parameter Penelitian 36
2.6 *Analytical Hierarchy Process* (AHP) 38
2.6.1 Pengertian dan Prinsip Dasar *Analytical Hierarchy Process* (AHP) 39
2.6.2 Skala Fundamental Saaty 42
2.6.3 Matriks Perbandingan Berpasangan 44
2.6.4 Normalisasi Matriks 45
2.6.5 Perhitungan Bobot Prioritas (*Priority Vector*) 47
2.6.6 Perhitungan Nilai Eigen Maksimum (λmaks) 48
2.6.7 Uji Konsistensi *Consistency Index* 49
2.6.8 Perhitungan *Consistency Ratio* (CR) 50
2.6.9 Penentuan Bobot Prioritas Akhir 51
2.6.10 Rekapitulasi Bobot Prioritas dan Penentuan Bobot Level 2 (L2) 53
2.7 *Geographic Information System* (GIS) 54
2.7.1 Komponen Geographic Information System (GIS) 54
2.7.2 Metode *Weighted Overlay* 56
2.7.3 Klasifikasi Tingkat Risiko Tanah Longsor 57
2.8 Integrasi Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Geographic Information System* (GIS) 58
2.9 Penelitian Terdahulu 61
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 63
3.1 Lokasi Penelitian 63
3.1.1 Pembagian Segmen Ruas Jalan Penelitian 64
3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian 65
3.2.1 Jenis dan Sumber Data Primer 66
3.2.2 Jenis dan Sumber Data Sekunder 69
3.3 Variabel Penelitian 70
3.3.1 Variabel Bahaya (*Hazard*) 72
3.3.2 Variabel Kerentanan (*Vulnerability*) 73
3.3.3 Variabel Keterpaparan (*exposure*) 74

3.4 Pendekatan Penelitian 75
3.4.1 Pendekatan Kuantitatif 75
3.4.2 Pendekatan Spasial 76
3.5 Teknik Pengumpulan Data 77
3.6 Teknik Analisis Data 80
3.6.1 Klasifikasi dan Skoring Parameter Penelitian 80
3.6.2 Klasifikasi dan Skoring Variabel Bahaya 81
3.6.3 Klasifikasi dan Skroing Variabel Kerentanan 85
3.6.4 Klasifikasi dan Skoring Variabel Keterpaparan 89
3.6.5 Pembobotan Variabel Menggunakan Metode AHP 92
3.6.6 Analisis Spasial Menggunakan Geographic Information System (GIS) 100
3.6.7 Penentuan Zona Prioritas Penanganan 103
3.7 Diagram Alir Analisis Risiko Bencana Tanah Longsor pada Infrastruktur Jalan Berbasis AHP dan GIS 104
BAB IV PEMBAHASAN 108
4.1 Deskripsi Kondisi Aktual Lokasi Penelitian 108
4.1.1 Letak Geografis Lokasi Penelitian 109
4.1.2 Kondisi Fisik Wilayah 110
4.1.3 Kondisi Infrastruktur Jalan 111
4.1.4 Penggunaan Lahan di Lokasi Penelitian 112
4.1.5 Kejadian Tanah Longsor di Lokasi Penelitian 113
4.2 Analisis Variabel Bahaya (Hazard) 115
4.3 Analisis Variabel Kerentanan 129
4.4 Analisis Variabel Keterpaparan 151
4.5 Analisis Pembobotan Faktor Risiko Tanah Longsor Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) 163
4.5.1 Identitas dan Jumlah Responden Ahli 164
4.5.2 Pembobotan Variabel Bahaya PerResponden Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process* 165
4.5.3 Pembobotan Variabel Kerentanan Perresponden Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process 179

4.5.4 Pembobotan Variabel Keterpaparan PerResponden Menggunakan *Analytical Hierarchy Process*.....188
4.5.5 Rekapitulasi Hasil Pembobotan Analytical Hierarchy Process (AHP) 195
4.6 Integrasi Pembobotan AHP dengan Analisis Sistem Informasi Geografis (GIS) 197
4.7 Zona Prioritas Penanganan Berdasarkan Hasil Integrasi Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Sistem Informasi Geografis (GIS).....208
BAB V PENUTUP.....213
5.1 Kesimpulan.....213
5.2 Saran.....214
DAFTAR PUSTAKA.....216
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....219
LAMPIRAN.....

DAFTAR GAMBAR

2.1 Struktur Hierarki Metode Analytical Hierarchy Process 41
2.2 Alur Integrasi Metode (AHP) dan (GIS) dalam Analisis Risiko Tanah Longsor 59
3.1 Lokasi Kejadian Tanah Longsor Jalan Poros Trans Kalimantan Utara 63
3.2 Peta Pembagian Segmen Jalan Poros Trans Kalimantan Utara 65
3.3 Flowchart Penelitian Kajian Risiko Longsor 106
3.4 Flowchart Alur AHP & GIS 107
4.1 Peta Lokasi Penelitian di Jalan Poros Trans Kalimantan Utara 108
4.2 Peta Letak Geografis Lokasi Penelitian 110
4.3 Kondisi Lereng alami disisi Ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara, Kawasan Sungai Urang 110
4.4 Kondisi Infrastruktur Jalan Poros Trans Kalimantan Utara 111
4.5 Kondisi Vegetasi pada Lereng di Lokasi Penelitian 112
4.6 Dokumentasi Kejadian Tanah Longsor 114
4.7 Peta Kemiringan Lereng Ruas Jalan di Kawasan Sungai Urang 117
4.8 Peta Jenis Tanah hasil Overlay 120
4.9 Hasil Overlay Peta Geologi 122
4.10 Peta Sebaran Curah Hujan pada Ruas Jalan di Kawasan Sungai Urang 124
4.11 Hasil Pemotongan (Clip) Data Tutupan Lahan 126
4.12 Peta Elevasi pada Daerah Penelitian 128
4.13 Pengukuran Lebar Jalan dan Bahu Jalan 143
4.14 Interpretasi Citra Satelit Kepadatan Bangunan di Sekitar Ruas Jalan Penelitian 147
4.15 Dokumentasi Kondisi Sekitar Ruas Jalan 160
4.16 Peta Hasil Integrasi Variabel Bahaya Menggunakan Pembobotan AHP dan GIS 201
4.17 Peta Hasil Integrasi Variabel Kerentanan Menggunakan Pembobotan AHP dan GIS 203

4.18 Peta Hasil Integrasi Variabel Keterpaparan Menggunakan Pembobotan AHP dan GIS 205
4.19 Peta Hasil Integrasi Pembobotan AHP dan SIG Risiko longsor Ruas Jalan Sungai Urang, Kabupaten Bulungan 207

DAFTAR TABEL

2.1 Klasifikasi jenis Tanah Longsor 13
2.2 Skala Perbandingan Saaty 43
2.3 Matriks Perbandingan Berpasangan 45
2.4 Nilai Random Index 51
2.5 Adaptasi Kelas Risiko Menjadi Zona Prioritas Penanganan 60
2.6 Daftar Literatur Penelitian Terdahulu 62
3.1 Pembagian Segmen Ruas Jalan Penelitian 64
3.2 Variabel Penelitian 71
3.3 Dasar Penentuan Variabel Bahaya 72
3.5 Dasar Penentuan Variabel Kerentanan 73
3.5 Dasar Penentuan Variabel Keterpaparan 74
3.6 Identitas Responden Penelitian 79
3.7 Klasifikasi dan Skoring Parameter Kemiringan Lereng 82
3.8 Klasifikasi dan Skoring Parameter Jenis Tanah 82
3.9 Klasifikasi dan Skoring Parameter Geologi 83
3.10 Klasifikasi dan Skoring Curah Hujan 83
3.11 Klasifikasi dan Skoring Tutupan Lahan 84
3.12 Klasifikasi dan Skoring Parameter Elevasi 85
3.13 Klasifikasi Nilai Kondisi Perkerasan Jalan 86
3.14 Klasifikasi Nilai Kondisi Drainase 87
3.15 Klasifikasi dan Skoring Parameter Kondisi Fisik Jalan 87
3.16 Klasifikasi dan Skoring Lebar Perkerasan Jalan 88
3.17 Klasifikasi dan Skoring Lebar Bahu Jalan 88
3.18 Klasifikasi dan Skoring Parameter Geometri Jalan 88
3.19 Klasifikasi dan Skoring Parameter Kepadatan Bangunan 89
3.20 Klasifikasi dan Skoring Parameter Volume LHR 90
3.21 Klasifikasi dan Skoring Parameter Kepadatan Penduduk 91
3.22 Klasifikasi dan Skoring Parameter Aktivitas Sosial Ekonomi 91
3.23 Matriks Perbandingan Berpasangan Variabel Bahaya 94

3.24 Matrik Perbandingan Berpasangan Variabel Kerentanan.....95
3.25 Matriks Perbandingan Berpasangan Variabel Keterpaparan.....95
3.26 Tahapan Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan 96
3.27 Tahapan Perhitungan Bobot Prioritas.....97
3.28 Tahapan Pelaksanaan Pengujian Konsistensi 98
3.29 Tahapan Rekapitulasi Bobot Prioritas Akhir.....99
3.30 Tahapan Persiapan Data Spasial.....101
3.31 Tahapan Reklasifikasi Parameter 101
3.32 Tahapan Penentuan Zona Prioritas Penanganan.....104
4.1 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Kemiringan Lereng 116
4.2 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Jenis Tanaha 118
4.3 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Geologi 121
4.4 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Curah Hujan 123
4.5 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Tutupan Lahan.....125
4.6 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Elevasi 127
4.7 Hasil Pengamatan Kerusakan Perkerasan Jalan 130
4.8 Hasil Skoring Kondisi Perkerasan Jalan.....134
4.9 Hasil Skoring Kondisi Perkerasan Jalan persegmen 136
4.10 Hasil Survei Kondisi Drainase Jalan Persegmen.....138
4.11 Hasil Skoring Kondisi Drainase 140
4.12 Hasil Skoring Kondisi Drainase persegmen.....141
4.13 Klasifikasi Nilai Kondisi Fisik Jalan 142
4.14 Hasil Perhitungan Nilai Kondisi Fisik Jalan.....142
4.15 Hasil Pengukuran Lebar Jalan 144
4.16 Hasil Pengukuran dan Skoring Lebar Bahu Jalan 145
4.17 Nilai Rata – rata Lebar Bahu Jalan pada Seluruh Segmen 145
4.18 Hasil Perhitungan Nilai Geometri Jalan untuk seluruh Segmen 146
4.19 Hasil Identifikasi Survei Lapangan 148
4.20 Skor Kepadatan Bangunan 148
4.21 Klasifikasi Tingkat Kerentanan.....149
4.22 Rekapitulasi Nilai Akhir Variabel Kerentanan.....151

4.23 Rekapitulasi Volume Kendaraan 155
4.24 Hasil Konversi LHR 157
4.25 Klasifikasi dan Skoring LHR 158
4.26 Hasil Skoring LHR 158
4.27 Hasil Analisis Kepadatan Penduduk.....159
4.28 Hasil Identifikasi Ativitas Sosial Ekonomi 161
4.29 Rekapitulasi Analisis Variabel Keterpaparan.....163
4.30 Identitas Responden Ahli.....165
4.31 Matriks Perbandingan Berpasangan Lima Responden.....166
4.32 Jumlah Kolom Matriks 168
4.33 Normalisasi Matriks 170
4.34 Nilai Rata – rata setiap Baris Normalisasi.....172
4.35 Bobot Eigen 174
4.36 Bobot Prioritas Variabel Bahaya 175
4.37 Rekapitulasi Bobot Prioritas Lima Responden.....177
4.38 Rekapitulasi Bobot Prioritas Akhir.....178
4.39 Matriks Perbandingan Berpasangan Variabel Kerentanan.....180
4.40 Normalisasi Matriks Variabel Kerentanan 181
4.41 Nilai Rata – rata setiap Baris Normalisasi Variabel Kerentanan.....182
4.42 Bobot Eigen responden Variabel Kerentanan 184
4.43 Penentuan Bobot Prioritas Variabel Kerentanan 186
4.44 Rekapitulasi Bobot Prioritas Lima Responden Variabel Kerentanan 187
4.45 Rekapitulasi Bobot Prioritas Akhir Variabel Kerentanan 187
4.46 Matriks Perbandingan Berpasangan Variabel Keterpaparan.....189
4.47 Jumlah Kolom Matriks Variabel Keterpaparan.....190
4.48 Normalisasi Matriks Variabel Keterpaparan 191
4.49 Bobot Prioritas Variabel Keterpaparan.....193
4.50 Rekapitulasi Bobot Prioritas Lima Responden Variabel Keterpaparan 194
4.51 Hasil Rekapitulasi Bobot Prioritas Lima Responden Variabel Keterpaparan.....195
4.52 Rekapitulasi Hasil Pembobotan AHP Seluruh Subkriteria.....197

4.53 Klasifikasi Integrasi 198
4.54 Perhitungan Integrasi Variabel Bahaya 199
4.55 Perhitungan Integrasi Variabel Kerentanan.....202
4.56 Perhitungan Integrasi Variabel Keterpaparan.....204
4.57 Interpretasi Zona Prioritas Penanganan Setiap Segmen 209
4.58 Rekomendasi Penanganan Berdasarkan Zona Prioritas 211

DAFTAR RUMUS

2.1 Risiko Bencana 7
2.2 Risiko 15
2.3 Nilai Rata – rata Skor 30
2.4 Nilai Kondisi Fisik Jalan 31
2.5 Nilai Geometri Jalan 32
2.6 Volume Kendaraan rata - rata 34
2.7 Konversi LHR menjadi LHR 24 Jam 35
2.8 Perhitungan Nilai Variabel Keterpaparan 36
2.9 Klasifikasi dan Skoring 37
2.10 Nilai Perbandingan aij 43
2.11 Nilai Normalisasi matriks 46
2.12 Bobot Prioritas Kriteria ke-I 47
2.13 Nilai Eigen Maksimum 48
2.14 Consistency Index 49
2.15 Consistency Ratio 50
2.16 Bobot Prioritas Akhir 52
2.17 Bobot Global ke 1 53
2.18 Bobot Global ke sub selanjutnya 53
2.19 Presentase Global 53
2.20 Nilai Akhir Risiko 56
3.1 Jumlah Parameter dalam Satu Variabel 93

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana tanah longsor merupakan isu global yang meningkat akibat perubahan iklim dan curah hujan ekstrem, serta berdampak signifikan terhadap infrastruktur, khususnya jaringan jalan yang berperan penting dalam konektivitas dan aktivitas ekonomi. Jalan yang melintasi wilayah bertopografi curam memiliki kerentanan tinggi terhadap ketidakstabilan lereng, sehingga berpotensi mengalami kerusakan dan gangguan fungsi yang berdampak luas

Secara ideal, pengelolaan infrastruktur jalan berbasis analisis risiko yang mengintegrasikan bahaya, kerentanan, dan keterpaparan untuk mendukung mitigasi bencana. Namun, perencanaan yang ada masih didominasi aspek teknis konstruksi dan belum mengakomodasi mitigasi secara komprehensif, sementara penelitian terdahulu cenderung terfokus pada analisis bahaya atau pemetaan secara terpisah sehingga belum mendukung strategi mitigasi yang terintegrasi dan aplikatif.

Konsep risiko bencana merupakan hasil interaksi antara tiga komponen utama, yaitu bahaya (***hazard***), kerentanan (***vulnerability***), dan keterpaparan (***exposure***), yang secara konseptual telah dikembangkan sejak tahun 1980 oleh Thomas L. Saaty dalam kerangka analisis pengambilan keputusan dan kemudian diadaptasi dalam kajian kebencanaan. ***Hazard*** diartikan sebagai potensi terjadinya peristiwa alam yang dapat menimbulkan kerugian, seperti tanah longsor, ***vulnerability*** menunjukkan tingkat kelemahan atau ketidakmampuan suatu sistem, masyarakat, atau infrastruktur dalam menghadapi dampak bahaya, sedangkan ***exposure*** menggambarkan tingkat keterpaparan elemen yang berisiko, seperti penduduk dan jaringan jalan yang berada di wilayah rawan bencana. Ketiga komponen ini saling berkaitan dalam menentukan besarnya risiko, di mana semakin tinggi tingkat

bahaya, kerentanan, dan keterpaparan, maka semakin besar pula risiko yang ditimbulkan. Konsep tersebut sejalan dengan Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, yang menyatakan bahwa risiko bencana merupakan fungsi dari bahaya, kerentanan, dan kapasitas yang berkaitan erat dengan tingkat keterpaparan, sehingga pengkajian risiko perlu dilakukan secara sistematis untuk mengetahui potensi kerugian pada suatu wilayah. Oleh karena itu, pemahaman terhadap hubungan antara *hazard*, *vulnerability*, dan *exposure* menjadi sangat penting dalam analisis risiko longsor, khususnya pada infrastruktur jalan, guna mendukung perencanaan mitigasi yang tepat dan efektif.

Kondisi tersebut juga terjadi pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan. Kejadian longsor pada 8 Maret 2026 yang disertai longsor susulan dalam waktu berdekatan menunjukkan adanya ketidakstabilan lereng yang signifikan serta tingginya risiko terhadap infrastruktur jalan. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa kerusakan fisik jalan, tetapi juga terganggunya akses transportasi serta meningkatnya risiko keselamatan pengguna jalan.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) efektif dalam menentukan bobot parameter risiko, sedangkan *Geographic Information System* (GIS) mampu memetakan distribusi spasial risiko. Namun, integrasi keduanya dalam kajian risiko infrastruktur jalan masih terbatas, sehingga diperlukan pendekatan yang menggabungkan analisis kuantitatif dan spasial untuk menghasilkan informasi risiko yang lebih komprehensif dan mendukung mitigasi bencana secara efektif.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan guna menghasilkan analisis risiko yang terukur dan berbasis spasial sebagai dasar dalam penentuan prioritas mitigasi bencana. Analisis ini dilakukan melalui penentuan tiga variabel utama, yaitu bahaya (*hazard*),

kerentanan (*vulnerability*), dan keterpaparan (*exposure*), yang kemudian disesuaikan dengan karakteristik lokasi penelitian di Kecamatan Tanjung Palas, khususnya pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara kawasan Sungai Urang, Kelurahan Tanjung Palas Hilir. Kawasan ini merupakan infrastruktur jalan strategis yang berada pada wilayah berlereng curam dengan kondisi geologi yang rentan serta dipengaruhi oleh faktor meteorologi berupa intensitas curah hujan yang tinggi, sehingga memiliki potensi besar terhadap kejadian tanah longsor. Oleh karena itu, pendekatan yang digunakan harus mampu merepresentasikan kondisi fisik wilayah secara spesifik agar hasil analisis dapat mendukung penentuan prioritas mitigasi yang tepat dan efektif.

Penelitian ini difokuskan pada Kajian Risiko Infrastruktur Jalan Poros Trans Kalimantan Utara, Kec. Tanjung Palas Menggunakan metode (AHP) dan (GIS) untuk menghasilkan nilai indeks risiko dan peta sebaran risiko sebagai dasar dalam penyusunan strategi mitigasi bencana longsor yang tepat, efektif, dan aplikatif, dengan studi kasus pada Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan analisis yang tidak hanya menghasilkan nilai risiko, tetapi juga mampu mendukung penyusunan strategi mitigasi dan penentuan prioritas penanganan. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

a. Berapa nilai dan bagaimana klasifikasi tingkat risiko longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang berdasarkan integrasi variabel bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), dan keterpaparan (*exposure*) pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang berdasarkan parameter yang ditentukan serta pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)?

b. Bagaimana mengidentifikasi distribusi spasial tingkat risiko longsor menggunakan *Geographic Information System* (GIS) pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara?

c. Bagaimana menetapkan zona prioritas penanganan berdasarkan hasil integrasi metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Geographic Information System* (GIS)?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan analisis risiko longsor yang terukur dan berbasis spasial sebagai dasar dalam penyusunan strategi mitigasi bencana pada infrastruktur jalan. Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah:

a. Menentukan nilai dan mengklasifikasikan tingkat risiko longsor berdasarkan analisis variabel bahaya (*hazard*)**,** kerentanan (*vulnerability*)**,** dan keterpaparan (*exposure*) melalui pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang.

b. Mengidentifikasi distribusi spasial tingkat risiko longsor menggunakan GIS serta menetapkan prioritas mitigasi bencana pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di Kawasan Sungai Urang.

c. Menetapkan zona prioritas penanganan berdasarkan hasil integrasi metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Geographic Information System* (GIS) sebagai dasar dalam penyusunan strategi mitigasi bencana longsor.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian agar lebih terarah dan tidak meluas dari permasalahan yang dikaji, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

a. Penelitian ini dibatasi pada ruas Jalan Poros Trans Penelitian ini dibatasi pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan, dengan analisis

menggunakan metode AHP dan GIS serta variabel bahaya, kerentanan, dan keterpaparan, tanpa analisis geoteknik rinci.

b. Data yang digunakan terbatas pada hasil observasi lapangan, wawancara, dan data sekunder dari instansi terkait, dengan pengolahan menggunakan Excel dan GIS. Output penelitian dibatasi pada nilai indeks risiko, peta sebaran risiko, serta rekomendasi prioritas mitigasi bencana longsor, tanpa mencakup perencanaan teknis detail.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian manajemen risiko bencana pada infrastruktur jalan, khususnya dalam mendukung upaya mitigasi longsor.

a. Manfaat Teoritis

Memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu teknik sipil, khususnya dalam integrasi metode AHP dan GIS untuk analisis risiko dan mitigasi bencana pada infrastruktur jalan.

b. Manfaat Praktis

Memberikan dasar informasi bagi instansi terkait dalam menentukan mitigasi bencana longsor, baik secara struktural maupun non-struktural, berdasarkan hasil analisis indeks dan peta risiko.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun untuk memberikan gambaran yang ter struktur mengenai isi setiap bab, sehingga memudahkan dalam memahami alur pembahasan. Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan yang menjadi dasar dalam pelaksanaan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas mengenai semua referensi terkait dengan tema/judul dan review penelitian skripsi terdahulu.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan dijelaskan metode yang akan digunakan untuk memperoleh data – data serta uraian singkat mengenai penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan hasil dari lapangan pada "KAJIAN RISIKO INFRASTRUKTUR JALAN POROS TRANS KALIMANTAN UTARA, KEC. TANJUNG PALAS AKIBAT BENCANA TANAH LONGSOR MENGGUNAKAN METODE AHP DAN GIS"

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan hasil pembahasan analisis mengenai penelitian yang akan dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Sebagai akhir dari Skripsi penulis membahas tentang kesimpulan secara menyeluruh dari hasil analisis dan pengamatan yang dilakukan. Kesimpulan adalah tentang rangkuman yang menjawab dari rumusan masalah dan telah memenuhi tujuan penelitian. Saran adalah tentang pengalaman dan pertimbangan dari peneliti yang di peruntukan bagi penelitian selanjutnya dan kepada pihak – pihak yang berwenang.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat semua *literature* yang menjadi bahan rujukkan dalam penyusunan laporan skripsi ini.

LAMPIRAN

Berisi tentang pendukung penelitian yang dapat berupa perhitungan, data, dokumentasi, maupun gambar kerja.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Konsep Dasar Risiko Bencana

Risiko bencana merupakan konsep utama dalam kajian kebencanaan yang menggambarkan kemungkinan kerugian yang ditimbulkan akibat suatu kejadian bencana. Definisi risiko bencana dapat ditinjau dari beberapa sumber, baik secara terminologis, hukum, maupun ilmiah.

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), risiko diartikan sebagai akibat yang kurang menyenangkan (merugikan, membahayakan) dari suatu perbuatan atau tindakan. Dalam konteks kebencanaan, risiko dikaitkan dengan potensi kerugian yang mungkin terjadi akibat suatu kejadian yang tidak diinginkan.

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, risiko bencana adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat. Definisi ini menegaskan bahwa risiko bencana tidak hanya bersifat fisik, tetapi juga mencakup aspek sosial dan ekonomi.

Sementara itu, definisi menurut UNDRR (*United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015*), risiko bencana merupakan fungsi dari interaksi antara bahaya (*hazard*), keterpaparan (*exposure*), dan kerentanan(*vulnerability*). Konsep ini dirumuskan sebagai:

Risiko bencana = Bahaya x Kerentanan x Keterpaparan *(2.1)*

Sejalan dengan itu, Cutter et al. (2008) dalam kajian social *vulnerability* menyatakan bahwa risiko bencana tidak hanya ditentukan oleh kekuatan bahaya alam, tetapi juga oleh kondisi sosial, ekonomi, dan kapasitas adaptasi masyarakat serta infrastruktur yang terdampak. Dengan demikian, wilayah

dengan tingkat kerentanan tinggi akan memiliki risiko yang lebih besar meskipun tingkat bahayanya relatif sama.

Berdasarkan berbagai definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa risiko bencana merupakan hasil interaksi antara potensi kejadian berbahaya dengan kondisi kerentanan dan keterpaparan suatu wilayah yang dapat menimbulkan kerugian fisik, sosial, maupun ekonomi. Dalam penelitian ini, konsep risiko bencana digunakan sebagai dasar analisis dalam menilai tingkat risiko longsor pada infrastruktur jalan

2.2 Pengertian Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan salah satu bentuk gerakan massa tanah atau batuan yang bergerak menuruni lereng akibat pengaruh gaya gravitasi. Kejadian ini umumnya terjadi ketika gaya penahan pada lereng lebih kecil dibandingkan gaya pendorong, sehingga material lereng menjadi tidak stabil dan mengalami pergerakan.

Menurut Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), tanah longsor didefinisikan sebagai gerakan material pembentuk lereng berupa tanah, batuan, atau material campuran yang bergerak ke bawah atau keluar lereng akibat ketidakstabilan lereng (PVMBG, 2019). PVMBG juga menjelaskan bahwa longsor merupakan salah satu bencana geologi yang paling sering terjadi di wilayah Indonesia, terutama pada daerah dengan topografi berbukit hingga pegunungan dan curah hujan tinggi.

Sementara itu, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menyatakan bahwa tanah longsor terjadi karena kombinasi faktor alam dan aktivitas manusia, seperti curah hujan tinggi, kondisi geologi yang labil, serta alih fungsi lahan yang tidak terkendali (BNPB, 2020). Dalam konteks infrastruktur, longsor sering menyebabkan kerusakan jalan, jembatan, dan bangunan, serta mengganggu aktivitas transportasi dan ekonomi masyarakat.

2.2.1 Faktor Penyebab Tanah Longsor

Faktor penyebab tanah longsor dapat dijelaskan melalui dua

perspektif utama, yaitu perspektif geologi yang dikemukakan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) serta perspektif kebencanaan dan manajemen risiko yang dijelaskan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB)**.** Memahami mekanisme terjadinya longsor.

Menurut PVMBG (2004)**,** tanah longsor terutama disebabkan oleh kondisi ketidakstabilan lereng yang berkaitan erat dengan faktor-faktor fisik dan geologi. Faktor utama yang mempengaruhi antara lain sudut lereng yang curam, jenis tanah atau batuan yang mudah lapuk, keberadaan bidang gelincir, serta kondisi hidrologi yang menyebabkan peningkatan kadar air dalam tanah. PVMBG menekankan bahwa longsor terjadi ketika gaya pendorong akibat gravitasi lebih besar dibandingkan gaya penahan pada material lereng, sehingga kestabilan lereng terganggu.

Sementara itu, BNPB (2020) menjelaskan bahwa tanah longsor merupakan bencana yang tidak hanya dipengaruhi oleh faktor alam, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Faktor alam yang ditekankan meliputi curah hujan tinggi, kondisi topografi curam, dan karakteristik tanah yang labil. Sedangkan faktor manusia meliputi pembukaan lahan, penggundulan hutan, pembangunan infrastruktur di daerah lereng, serta sistem drainase yang buruk. BNPB menyoroti bahwa intervensi manusia dapat mempercepat proses degradasi kestabilan lereng.

Jika dibandingkan, PVMBG lebih berfokus pada aspek geologi dan mekanisme fisik terjadinya longsor**,** sedangkan BNPB lebih menekankan pada aspek risiko, aktivitas manusia, dan dampak bencana dalam konteks penanggulangan bencana**.** Keduanya memiliki keterkaitan yang kuat, di mana faktor geologi dari PVMBG menjelaskan proses terjadinya longsor, sedangkan faktor dari BNPB menjelaskan bagaimana aktivitas manusia memperbesar potensi risiko longsor.

1. Faktor Alami (Natural Factors)

Faktor alami merupakan kondisi alam yang mempengaruhi kestabilan lereng, antara lain:

a. Sudut Lereng (*Slope Angle*)

   Semakin besar sudut lereng, semakin besar gaya gravitasi yang bekerja terhadap massa tanah. Kondisi ini menyebabkan gaya pendorong lebih dominan dibandingkan gaya penahan, sehingga meningkatkan potensi terjadinya longsor.

b. Curah hujan tinggi

   Air hujan yang meresap ke dalam tanah meningkatkan tekanan pori air (*pore water pressure*) sehingga menurunkan kekuatan geser tanah.

c. Jenis dan Struktur Tanah/Batuan

   Tanah berbutir halus seperti lampung dan lanau atau batuan yang telah melapuk memiliki daya ikat rendah sehingga lebih mudah mengalami pergerakan massa.

d. Kondisi Geologi

   Adanya patahan, rekahan, atau bidag diskontinuitas dapat menjadi bidang gelincir potensial yang memicu terjadinya lonngsor.

e. Kondisi Hidrologi

   Sistem aliran air bawah permukaan yang buruk dapat menyebabkan akumulasi air di dalam tanah, sehingga meningkatkan kejenuhan dan menurunkan stabilitas lereng.

2. Faktor Non-Alami (Antropogenik/Aktivitas Manusia)

Faktor ini berkaitan dengan aktivitas manusia yang dapat mempercepat terjadinya longsor, seperti:

a. Pembukaan Lahan dan Deforestasi

   Hilangnya vegetasi mengurangi daya ikat tanah oleh akar tanaman sehingga lereng menjadi lebih rentan terhadap pergerakan massa.

b. Pemotongan lereng untuk pembangunan jalan

   Aktivitas galian dan cut and fill pada pembangunan jalan dapat mengganggu keseimbangan alami lereng dan meningkatkan ketidakstabilan.

c. Sistem drainase yang buruk

   Air permukaan yang tidak teralirkan dengan baik akan meresap ke dalam

tanah dan meningkatkan kejenuhan, sehingga memperbesar potensi longsor. Beban bangunan di atas lereng.

d. Perubahan Tata Guna Lahan

   Alih fungsi lahan dari vegetasi alami menjadi permukiman atau area terbuka meningkatkan tingkat kerentanan lereng terhadap longsor.

e. Beban Tambahan pada Lereng

   Pembangunan bangunan atau infrastruktur di atas lereng menambah gaya pendorong yang dapat memicu kegagalan lereng.

3. Faktor Pemicu (*Triggering Factors*)

a. Curah hujan dengan intensitas tinggi dalam waktu lama
b. Gempa bumi atau getaran tektonik
c. Getaran akibat kendaraan berat pada daerah lereng
d. Erosi kaki lereng akibat aliran air sungai atau drainase

2.2.2 Klasifikasi Jenis Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan salah satu jenis bencana geologi yang memiliki karakteristik beragam tergantung pada kondisi material, morfologi lereng, serta mekanisme pergerakannya. Oleh karena itu, klasifikasi jenis longsor menjadi penting untuk memahami pola kejadian, tingkat bahaya, serta potensi dampak yang ditimbulkan.

Sementara itu, dalam perspektif kebencanaan, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menekankan bahwa setiap jenis bencana, termasuk tanah longsor, perlu diklasifikasikan dan dipahami karakteristiknya sebagai dasar dalam penentuan tingkat risiko dan penyusunan strategi mitigasi. Hal ini diperkuat oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2020) yang menyatakan bahwa pengenalan tipe dan karakteristik longsor sangat penting dalam upaya pengurangan risiko bencana, khususnya dalam menentukan tingkat kerentanan dan dampak terhadap infrastruktur.

Dengan mengacu pada pendekatan teknis dan kebencanaan tersebut, klasifikasi tanah longsor tidak hanya berfungsi untuk memahami proses

geologi, tetapi juga sebagai dasar dalam analisis risiko dan penentuan prioritas penanganan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, klasifikasi longsor digunakan sebagai bagian dari analisis bahaya (*hazard*) yang akan diintegrasikan dengan aspek kerentanan dan keterpaparan.

Menurut Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG, 2004) serta Cruden dan Varnes (1996)**,** tanah longsor dapat diklasifikasikan berdasarkan mekanisme gerakannya menjadi beberapa jenis sebagai berikut:

a. Longsor Translasi (*Translational Slide*)

   Longsoran translasi merupakan pergerakan massa tanah atau batuan yang bergerak secara sejajar sepanjang bidang gelincir yang relatif datar atau sedikit miring.

b. Longsor Rotasi (*Rotational Slide*)

   Longsoran rotasi terjadi ketika massa tanah bergerak mengikuti bidang gelincir yang berbentuk melengkung. Pergerakan ini menyebabkan bagian atas lereng mengalami penurunan dan bagian bawah mengalami pengangkatan.

c. Runtuhan Batu (*Rock Fall*)

   Runtuhan batu merupakan peristiwa jatuhnya material batuan dari lereng yang sangat curam atau tebing secara bebas akibat gaya gravitasi. Proses ini biasanya terjadi secara tiba-tiba dan memiliki kecepatan tinggi sehingga berpotensi menimbulkan dampak yang besar terhadap infrastruktur di bawahnya.

d. Aliran Tanah (*Debris Flow/Earth Flow*)

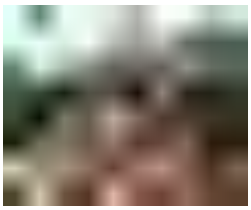
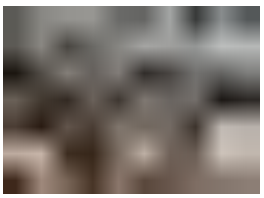
   Aliran tanah terjadi ketika material tanah bercampur dengan air dalam jumlah besar sehingga bergerak menyerupai aliran fluida.

e. Rayapan Tanah (*Soil Creep*)

   Rayapan tanah merupakan pergerakan tanah yang sangat lambat dan berlangsung secara terus-menerus. Meskipun tidak langsung terlihat, jenis ini dapat menyebabkan deformasi pada struktur seperti jalan, bangunan, dan tiang listrik dalam jangka panjang. klasifikasi longsor berdasarkan mekanisme gerakannya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Jenis Tanah Longsor

No	Jenis Longsor	Ciri Utama	Mekanisme Gerakan	Dampak	Skema
1	Longsor Translasi	Bidang gelincir rata/landau. Pergerakkan searah. Kecepatan cepat Beban terlalu berat. Kerusakan besar.	Massa tanah meluncur di atas lapisan kedap air (tanah liat) bergeser sejajar lereng	kerusakan infrastruktur dan pemukiman Ancaman jiwa dan kesehatan. Kerugian ekonomi. Kerusakan lahan vegetasi, hilangnya kesuburan tanah, dan perubahan bentang alam yang memicu lahan kritis.	
2	Rotasi	Bidang gelincir cekung Gerakan berputar Rotasi blok Retakan tapal kuda	Massa tanah berputar saat menuruni lereng	Menyebabkan permukaan lereng bagian atas turun (longsoran melengkung) dan bagian bawahnya terangkat.	
3	Runtuhan batu	Jatuhnya material batuan atau keras dalam ukuran besar secara cepat (terjatuh, melompat, atau	Batuan jatuh bebas (falling), melompat (bounching), atau menggelinding (rolling)	Merusak, sering kali berakibat fatal, menghancurkan infrastruktur, dan menelan korban jiwa.	

No	Jenis Longsor	Ciri Utama	Mekanisme Gerakan	Dampak	Skema
		menggelinding) dari tebing curam.	menuruni lereng.	Nilai risiko runtuhan batu tergolong tinggi – sangat tinggi.	
4	Aliran tanah	Kejenuhan air tinggi Pergerakan aliran Bagian atas (sumber)berbentuk seperti cekungan atau sendok, menyempit di tengah, lalu melebar dan menumpuk di bagia bawah (ujung aliran)	Pergerakan massa tanah atau material rombakan yang jenuh air, yang mengalir menuruni lereng seperti viskos atau cairan kental (Fluida).	Sangat destruktif, mencakup korban jiwa, kerusakan infrastruktur (jalan/jembatan), rumah tertimbun, hingga hancurnya lahan produktif dan ekosistem.	
5	Rayapan Tanah	Gerakannya yang sangat lambat, dan berlangsung secara terus menerus dalam waktu yang lama.	Pergerakan tanah terjadi perlahan, hamper tidak kasat mata Pergerakkan rotasi melengkung atau translasi mendatar.	Kerusakan infrastruktur Perubahan bentang alam Kerugian ekonomi & social Ketidakstabilan jangka panjang	

Sumber. Diolah dari PVMBG (2004), Cruden & Varnes (1996), dan BNPB (2020)

2.3 Komponen Risiko Bencana

Analisis risiko bencana tanah longsor pada infrastruktur jalan merupakan pendekatan yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kerugian akibat bencana dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang saling berinteraksi. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana**,** risiko bencana didefinisikan sebagai potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu, yang dapat berupa korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, serta dampak psikologis.

Dalam kajian kebencanaan, khususnya yang dikembangkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2020)**,** risiko bencana dipengaruhi oleh tiga komponen utama, yaitu bahaya (***hazard***), kerentanan (***vulnerability***), dan keterpaparan (***exposure***)**.** Ketiga komponen tersebut menjadi dasar dalam analisis risiko yang digunakan untuk mendukung perencanaan mitigasi dan pengurangan risiko bencana di tingkat nasional maupun daerah melalui Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD)**.**

Pendekatan ini juga didukung oleh penelitian terdahulu yang menggunakan metode pembobotan multikriteria, seperti AHP dan GIS, dalam menganalisis risiko longsor secara sistematis. Dalam beberapa penelitian, risiko dihitung sebagai kombinasi antara bahaya dan kerentanan, namun dalam penelitian ini dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan aspek keterpaparan agar menghasilkan analisis yang lebih komprehensif.

Secara konseptual, hubungan antara ketiga komponen risiko dapat dinyatakan sebagai:

$$\mathbf{R = H \times V \times E} \qquad \textit{(2.2)}$$

Di mana:

R = Risiko (***Risk***)

H = Bahaya (***Hazard***)

V = Kerentanan (***Vulnerability***)

E = Keterpaparan (***Exposure***)

Konsep ini menunjukkan bahwa risiko akan meningkat apabila salah satu atau seluruh komponen memiliki nilai tinggi, sehigga diperlukan analisis terintegrasi terhadap ketiga komponen.

2.3.1 Bahaya (*Hazard*)

Menurut BNPB (2020), bahaya (*hazard*) adalah suatu kejadian atau fenomena yang berpotensi menimbulkan kerusakan, kerugian, atau korban jiwa. Dalam konteks tanah longsor, bahaya merupakan potensi terjadinya pergerakan massa tanah yang dipengaruhi oleh kondisi fisik wilayah.

Sementara itu, berdasarkan pendekatan teknis dari PVMBG (2004), bahaya longsor ditentukan oleh faktor geologi dan morfologi, seperti sudut lereng, kondisi tanah, serta pengaruh hidrologi. Hal ini sejalan dengan penelitian pemetaan risiko longsor yang menggunakan metode AHP dan GIS, di mana variabel fisik seperti sudut lereng, curah hujan, geologi, dan penggunaan lahan menjadi faktor utama dalam menentukan tingkat bahaya. Dalam penelitian ini, parameter bahaya (*hazard*) meliputi:

1. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan sudut kemiringan permukaan tanah terhadap bidang horizontal yang mempengaruhi kestabilan lereng.

Menurut Van Westen dkk. (2008), semakin curam suatu lereng maka gaya gravitasi yang bekerja pada massa tanah akan semakin besar sehingga meningkatkan potensi terjadinya longsor. Lereng dengan kemiringan tinggi memiliki gaya pendorong lebih besar dibandingkan gaya penahan, sehingga lebih rentan mengalami pergerakan tanah.

Dalam penelitian ini, kemiringan lereng digunakan sebagai parameter bahaya (*hazard*) untuk tingkat identifikasi potensi longsor di ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara. Parameter ini digunakan karena kondisi topografi di kawasan penelitian didominasi oleh lereng yang cukup curam dan melandai langsung dengan badan jalan, sehingga berpengaruh terhadap kestabilan lereng dan tingkat risiko longsor.

2. Jenis tanah

Jenis tanah merupakan karakteristik material penyusun permukaan bumi yang mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap udara dan mempertahankan kestabilan lereng.

Menurut Hardiyatmo (2012), tanah dengan tekstur halus seperti lempung dan lanau memiliki daya ikat yang rendah ketika udara jenuh, sehingga lebih mudah mengalami pergerakan massa tanah dan berpotensi menyebabkan longsor. Selain itu, tanah yang mudah melapuk akan mengalami penurunan kekuatan geser sehingga meningkatkan ketidakstabilan lereng.

Dalam penelitian ini, jenis tanah digunakan sebagai parameter bahaya (*hazard*) karena karakteristik tanah sangat mempengaruhi tingkat kestabilan lereng pada kawasan penelitian. Wilayah Kalimantan Utara didominasi oleh jenis tanah sisa dan aluvial yang relatif mudah tererosi dan mengalami kejenuhan udara saat intensitas curah hujan tinggi. Oleh karena itu, parameter jenis tanah digunakan untuk mengidentifikasi tingkat potensi longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang.

3. Jenis Batuan/Geologi

Geologi merupakan kondisi batuan penyusun suatu wilayah yang meliputi jenis batuan, struktur geologi, tingkat pelapukan, serta keberadaan rekahan atau patahan pada lereng.

Menurut PVMBG (2004), batuan yang telah mengalami pelapukan memiliki tingkat kekuatan yang lebih rendah sehingga lebih mudah mengalami pergerakan massa tanah. Selain itu, struktur geologi seperti rekahan, sesar, dan bidang diskontinuitas dapat menjadi bidang gelincir yang memicu terjadinya tanah longsor. Kondisi batuan yang lemah dan mudah lapuk akan menurunkan kestabilan lereng, terutama pada daerah dengan intensitas curah hujan tinggi.

Dalam penelitian ini, geologi digunakan sebagai parameter bahaya (*hazard*) karena kondisi batuan sangat mempengaruhi tingkat risiko longsor pada kawasan penelitian.

4. Curah Hujan

Curah hujan merupakan jumlah air hujan yang jatuh pada suatu wilayah dalam periode waktu tertentu dan menjadi salah satu faktor utama penyebab tanah longsor.

Menurut BNPB (2020), intensitas curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan kadar udara di dalam tanah sehingga menurunkan kestabilan lereng dan memicu pergerakan massa tanah.

Dalam penelitian ini, curah hujan digunakan sebagai parameter bahaya (*hazard*) karena wilayah penelitian memiliki intensitas hujan yang relatif tinggi dan berpengaruh terhadap tingkat kestabilan lereng di sekitar ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara. Oleh karena itu, parameter curah hujan digunakan untuk mengidentifikasi tingkat potensi longsor.

5. Tutupan Lahan

Tutupan lahan merupakan kondisi penutup permukaan bumi yang meliputi hutan, vegetasi, lahan terbuka, organisasi, dan kawasan terbangun lainnya. Kondisi tutupan lahan sangat mempengaruhi kestabilan lereng karena vegetasi memiliki sistem perakaran yang mampu mengikat partikel tanah, meningkatkan daya serap udara, serta mengurangi erosi akibat aliran permukaan.

Menurut Paimin dkk. (2009), perubahan tutupan lahan dari kawasan berhutan menjadi lahan terbuka dapat meningkatkan potensi terjadinya longsor karena berkurangnya kemampuan tanah dalam menahan udara dan menjaga kestabilan lereng. Selain itu, kawasan dengan vegetasi yang minim akan lebih mudah mengalami pengikisan tanah saat curah hujan tinggi sehingga meningkatkan risiko pergerakan massa tanah.

Dalam penelitian ini, tutupan lahan digunakan sebagai parameter bahaya (*hazard*) karena kondisi penggunaan lahan di sekitar ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara berpengaruh terhadap tingkat kestabilan lereng dan potensi terjadinya tanah longsor.

6. Elevasi/Ketinggian

Elevasi merupakan ketinggian suatu wilayah terhadap permukaan laut

yang mempengaruhi kondisi topografi, kemiringan lereng, serta pola aliran udara permukaan.

Menurut Van Westen dkk. (2008), wilayah dengan ketinggian yang lebih tinggi umumnya memiliki bentuk lereng yang lebih curam dan kondisi tanah yang lebih rentan mengalami longsor dibandingkan wilayah datar. Perbedaan ketinggian juga mempengaruhi proses pelapukan batuan, distribusi air hujan, dan kestabilan tanah pada suatu lereng. Selain itu, daerah dengan ketinggian tertentu sering mengalami akumulasi udara yang dapat meningkatkan kejenuhan tanah dan menurunkan kekuatan geser tanah.

Dalam penelitian ini, elevasi digunakan sebagai parameter bahaya (*hazard*) karena kondisi ketinggian wilayah pada kawasan penelitian mempengaruhi tingkat risiko longsor di sekitar badan jalan. Variasi elevasi pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang memiliki potensi longsor lebih tinggi.

2.3.2 Kerentanan (*Vulnerability*)

Menurut Undang-Undang No. 24 Tahun 2007, kerentanan adalah kondisi atau karakteristik suatu wilayah atau sistem yang menyebabkan ketidakmampuan dalam menghadapi ancaman bencana. Definisi ini diperkuat oleh BNPB (2020) yang menyatakan bahwa kerentanan mencerminkan tingkat kelemahan fisik, sosial, ekonomi, dan lingkungan terhadap dampak bencana.

Dalam konteks infrastruktur jalan, kerentanan lebih difokuskan pada kondisi fisik dan teknis jalan. Penelitian terkait risiko jaringan jalan menunjukkan bahwa kerentanan infrastruktur merupakan faktor penting dalam menentukan tingkat kerusakan akibat longsor. Parameter kerentanan dalam penelitian ini meliputi:

1. Kondisi Fisik Jalan

Kondisi fisik jalan merupakan salah satu parameter kerentanan yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kemampuan suatu ruas jalan dalam mempertahankan fungsi pelayanannya terhadap pengaruh lingkungan

maupun bencana. Kondisi fisik jalan yang baik menunjukkan bahwa infrastruktur masih mampu melayani lalu lintas secara optimal, sedangkan kondisi yang mengalami kerusakan dapat meningkatkan tingkat kerentanan terhadap gangguan, termasuk bencana tanah longsor.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2011), kondisi fisik jalan dapat dilihat dari tingkat kerusakan perkerasan, retakan, pembekuan, penurunan badan jalan, serta kondisi drainase jalan yang mempengaruhi tingkat pelayanan dan kestabilan jalan. Jalan dengan kondisi fisik yang kurang baik akan lebih rentan mengalami kerusakan apabila terjadi tanah longsor karena kestabilan Struktur jalan telah menurun.

Dalam penelitian ini, kondisi fisik jalan dinilai berdasarkan dua indikator utama, yaitu:

Kondisi perkerasan digunakan untuk menggambarkan tingkat kerusakan permukaan jalan yang dapat memengaruhi kenyamanan, keamanan, dan kapasitas pelayanan jalan.

kondisi drainase digunakan untuk menilai kemampuan sistem drainase dalam mengalirkan air permukaan. Drainase yang tidak berfungsi dengan baik dapat menyebabkan genangan air, meningkatkan infiltrasi ke dalam tanah, serta mempercepat penurunan kekuatan tanah di sekitar badan jalan yang pada akhirnya dapat meningkatkan potensi terjadinya longsor.

Karena kedua indikator tersebut memiliki tingkat kepentingan yang dianggap sama dalam menggambarkan kondisi fisik jalan, maka nilai kondisi fisik diperoleh menggunakan metode rata-rata aritmatika (***arithmetic mean***). Menurut Sugiyono, rata-rata aritmatika merupakan ukuran pemusatan data yang diperoleh dengan menjumlahkan seluruh nilai pengamatan kemudian dibagi dengan jumlah data. Pendekatan ini banyak digunakan untuk memperoleh satu nilai representatif dari beberapa indikator yang memiliki bobot yang sama.

2. Geometri Jalan

Geometri jalan merupakan karakteristik fisik jalan yang berkaitan dengan bentuk, dimensi, dan tata letak elemen-elemen jalan yang dirancang

untuk menjamin keamanan, kenyamanan, dan kelancaran lalu lintas. Menurut Pd T-14-2003 tentang Perencanaan Geometrik Jalan Perkotaan yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, geometri jalan meliputi berbagai elemen seperti lebar jalur lalu lintas, lebar bahu jalan, alinyemen horizontal, dan alinyemen vertikal yang harus direncanakan sesuai dengan fungsi dan kelas jalan. Penilaian kedua indikator tersebut mengacu pada standar geometrik jalan yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga.

Lebar perkerasan untuk jalan dua lajur dua arah (2/2 UD) direkomendasikan minimal 7,0 meter, sedangkan lebar bahu jalan direkomendasikan minimal 2,0–2,5 meter pada setiap sisi jalan. Standar tersebut digunakan sebagai acuan dalam penyusunan klasifikasi dan skoring geometri jalan pada penelitian ini.

Nilai lebar badan jalan dan lebar bahu jalan digabungkan menjadi satu nilai representatif menggunakan rata-rata aritmatika (***arithmetic mean*)**. Menurut ***Walpole, Myers, Myers, dan Ye (2012*)** dalam *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, rata-rata aritmatika merupakan ukuran pemusatan data yang digunakan untuk memperoleh satu nilai yang mewakili beberapa data pengamatan yang memiliki tingkat kepentingan yang sama. Oleh karena itu, pendekatan ini digunakan karena lebar badan jalan dan lebar bahu jalan dianggap memiliki kontribusi yang setara dalam menggambarkan kondisi geometri jalan.

3. Kepadatan Bangunan di Sekitar Jalan

Kepadatan bangunan merupakan salah satu parameter kerentanan yang menggambarkan tingkat konsentrasi bangunan pada suatu wilayah. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana dalam Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, kepadatan bangunan merupakan salah satu indikator kerentanan fisik yang digunakan untuk menilai tingkat potensi kerugian terhadap aset fisik akibat suatu bencana. Semakin tinggi kepadatan bangunan pada suatu kawasan, maka semakin besar tingkat kerentanan fisik wilayah tersebut terhadap dampak bencana karena potensi kerusakan infrastruktur dan gangguan

terhadap aktivitas masyarakat akan semakin meningkat.

Secara kuantitatif, kepadatan bangunan dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah bangunan dengan luas wilayah pengamatan. Menurut Burrough, P. A., & McDonnell, R. A., analisis kepadatan pada data spasial umumnya dinyatakan sebagai jumlah objek per satuan luas sehingga menghasilkan ukuran yang dapat dibandingkan antarwilayah. Oleh karena itu, pada penelitian ini nilai kepadatan bangunan dihitung menggunakan persamaan berikut.

2.3.3 Keterpaparan (*Exposure*)

Keterpaparan (*exposure*) merupakan salah satu komponen utama dalam analisis risiko bencana yang menggambarkan keberadaan penduduk, aset, infrastruktur, maupun aktivitas yang berpotensi mengalami dampak apabila terjadi suatu bencana. Menurut *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNDRR, 2017)**,** keterpaparan didefinisikan sebagai kondisi manusia, aset ekonomi, infrastruktur, layanan, serta sumber daya lainnya yang berada pada kawasan rawan bencana sehingga memiliki potensi untuk mengalami kerusakan atau kerugian. Semakin besar jumlah objek yang berada pada wilayah terdampak, maka semakin tinggi tingkat keterpaparan terhadap bencana.

Dalam Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, keterpaparan dinilai berdasarkan keberadaan unsur-unsur yang memiliki nilai sosial, ekonomi, maupun fisik yang berpotensi terdampak oleh suatu ancaman. Oleh karena itu, analisis keterpaparan menjadi salah satu tahapan penting dalam menentukan tingkat risiko bencana karena menunjukkan besarnya objek yang dapat mengalami kerusakan apabila bencana terjadi.

1. Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)

Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) merupakan jumlah kendaraan yang melintasi suatu ruas jalan selama periode 24 jam dan

digunakan sebagai indikator tingkat pemanfaatan suatu ruas jalan. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023) dalam *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023)*, data volume lalu lintas merupakan parameter dasar dalam analisis kapasitas dan kinerja jalan, serta dapat diperoleh melalui survei lalu lintas sesuai tata cara perhitungan yang berlaku.

Dalam analisis risiko bencana, volume lalu lintas digunakan sebagai salah satu parameter keterpaparan (*exposure*) karena menggambarkan jumlah pengguna jalan yang berpotensi terdampak apabila terjadi gangguan pada infrastruktur jalan akibat bencana tanah longsor. Semakin tinggi volume lalu lintas pada suatu ruas jalan, maka semakin besar pula jumlah pengguna jalan yang berpotensi mengalami dampak ketika akses jalan terganggu atau terputus. Oleh karena itu, volume lalu lintas menjadi salah satu indikator penting dalam menilai tingkat keterpaparan suatu ruas jalan terhadap bencana.

Data lalu lintas diperoleh melalui survei pencacahan kendaraan selama 6 jam pada periode jam representatif. Karena pengamatan tidak dilakukan selama 24 jam penuh, hasil survei dikonversi menjadi LHR 24 jam menggunakan faktor konversi (Fk**)**. Faktor konversi merupakan koefisien yang digunakan untuk mengestimasi volume lalu lintas harian berdasarkan volume kendaraan hasil survei pada periode tertentu sehingga diperoleh nilai yang mewakili kondisi lalu lintas selama satu hari penuh. Penggunaan faktor konversi dalam survei lalu lintas terbatas telah banyak diterapkan pada pedoman survei lalu lintas Direktorat Jenderal Bina Marga dan penelitian-penelitian transportasi.

2. Kepadatan Penduduk

Kepadatan penduduk merupakan jumlah penduduk yang menempati suatu wilayah tertentu yang dinyatakan dalam satuan jiwa per satuan luas. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS, 2024), kepadatan penduduk digunakan untuk menggambarkan persebaran penduduk pada suatu wilayah serta menunjukkan tingkat konsentrasi penduduk yang menempati wilayah tersebut. Informasi mengenai kepadatan penduduk menjadi salah satu

indikator penting dalam berbagai kajian pembangunan, tata ruang, maupun pengkajian risiko bencana.

Dalam analisis risiko bencana, kepadatan penduduk digunakan sebagai salah satu parameter keterpaparan (*exposure*) karena menggambarkan jumlah penduduk yang berpotensi terdampak apabila terjadi bencana. Menurut Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, semakin tinggi jumlah penduduk yang berada pada kawasan rawan bencana, maka semakin besar tingkat keterpaparan wilayah tersebut terhadap potensi kerugian akibat bencana.

Pada penelitian ini, kepadatan penduduk digunakan untuk mengetahui tingkat keterpaparan masyarakat di sekitar ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara terhadap potensi bencana tanah longsor. Nilai kepadatan penduduk diperoleh dari perbandingan antara jumlah penduduk dengan luas wilayah administrasi pada lokasi penelitian sehingga menghasilkan nilai kepadatan penduduk dalam satuan jiwa per kilometer persegi (jiwa/km^2).

3. Aktivitas Sosial Ekonomi

Aktivitas sosial ekonomi merupakan seluruh kegiatan masyarakat yang berkaitan dengan interaksi sosial, perdagangan, jasa, pendidikan, pemerintahan, maupun kegiatan ekonomi lainnya yang memanfaatkan suatu wilayah atau infrastruktur sebagai sarana pendukung. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) melalui Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, aktivitas sosial ekonomi merupakan salah satu indikator keterpaparan yang menggambarkan tingkat ketergantungan masyarakat terhadap suatu kawasan atau infrastruktur yang berpotensi terdampak bencana.

Dalam penelitian ini, aktivitas sosial ekonomi digunakan sebagai parameter keterpaparan karena ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara berperan sebagai jalur penghubung berbagai kegiatan masyarakat. Apabila terjadi longsor yang mengakibatkan terganggunya fungsi jalan, maka aktivitas perdagangan, distribusi barang, akses pendidikan, pelayanan

kesehatan, serta mobilitas masyarakat dapat terhambat. Semakin tinggi tingkat aktivitas sosial ekonomi yang bergantung pada suatu ruas jalan, maka semakin tinggi pula tingkat keterpaparannya terhadap risiko longsor

2.4 Dasar Perhitungan Variabel Penelitian

Dalam penelitian kuantitatif, proses analisis data diawali dengan pengolahan data hasil pengamatan untuk memperoleh nilai yang mampu merepresentasikan kondisi sebenarnya pada lokasi penelitian. Salah satu metode yang umum digunakan adalah rata-rata aritmatika (*Arithmetic Mean*), yaitu metode yang menghitung nilai representatif suatu kelompok data dengan menjumlahkan seluruh nilai pengamatan kemudian membaginya dengan jumlah data.

Menurut Walpole (2012), rata-rata aritmatika merupakan ukuran pemusatan data yang paling banyak digunakan karena mampu memberikan gambaran umum terhadap sekumpulan data kuantitatif. Pendapat serupa disampaikan oleh Sugiyono (2019) yang menyatakan bahwa nilai rata-rata digunakan untuk menggambarkan kecenderungan umum suatu data hasil pengamatan sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam proses analisis lebih lanjut.

Pada penelitian ini, metode rata-rata aritmatika digunakan untuk menghitung nilai setiap parameter pada masing-masing variabel penelitian. Parameter yang memiliki lebih dari satu titik pengamatan. Selanjutnya, nilai rata-rata dari masing-masing parameter digunakan untuk menghitung nilai variable. Pendekatan ini bertujuan agar setiap parameter memberikan kontribusi yang proporsional dalam pembentukan nilai variabel sebelum dilakukan proses pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* dan analisis spasial menggunakan *Geographic Information System.*

2.4.1 Perhitungan Variabel Bahaya

Variabel bahaya (*hazard*) merupakan komponen yang menggambarkan tingkat kemungkinan terjadinya bencana tanah longsor berdasarkan

karakteristik fisik lingkungan. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2012), bahaya merupakan suatu fenomena atau kondisi alam yang berpotensi menimbulkan kerusakan, kerugian, maupun korban jiwa.

Dalam analisis risiko tanah longsor, tingkat bahaya dipengaruhi oleh faktor-faktor fisik yang berkaitan dengan kondisi topografi, geologi, hidrologi, tanah, dan tutupan lahan.

Oleh karena itu, pada penelitian ini variabel bahaya disusun berdasarkan enam parameter, yaitu elevasi, kemiringan lereng, curah hujan, geologi, jenis tanah, dan tutupan lahan**.** Masing-masing parameter diperoleh melalui pengolahan data spasial menggunakan *Geographic Information System (GIS),* kemudian diklasifikasikan berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan untuk menghasilkan nilai parameter sebagai masukan dalam analisis risiko.

a. Perhitungan Parameter Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan perbandingan antara perubahan elevasi terhadap jarak horizontal yang dinyatakan dalam satuan persen (%) atau derajat (°).

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, kemiringan lereng merupakan faktor utama yang memengaruhi kestabilan lereng, karena semakin besar sudut lereng maka semakin besar gaya pendorong yang dapat memicu terjadinya longsor.

Dalam penelitian ini, parameter kemiringan lereng diperoleh dari hasil analisis DEM menggunakan GIS, kemudian diklasifikasikan sesuai kriteria yang digunakan dalam penelitian.

b. Perhitungan Parameter Jenis Tanah

Jenis tanah merupakan salah satu parameter yang memengaruhi potensi terjadinya tanah longsor karena setiap jenis tanah memiliki sifat fisik dan mekanik yang berbeda, seperti tekstur, permeabilitas, kohesi, dan kemampuan menahan air.

Menurut Badan Geologi, karakteristik tanah yang memiliki daya ikat rendah dan permeabilitas tinggi cenderung lebih rentan mengalami longsor

dibandingkan tanah yang lebih stabil.

Dalam penelitian ini, parameter jenis tanah diperoleh dari peta jenis tanah yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanannya.

c. Perhitungan Parameter Geologi

Kondisi geologi menggambarkan jenis dan karakteristik batuan penyusun suatu wilayah yang memengaruhi tingkat kestabilan lereng.

Menurut Badan Geologi, karakteristik litologi dan struktur geologi berperan dalam menentukan tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap gerakan tanah.

Pada penelitian ini, parameter geologi diperoleh dari peta geologi regional yang kemudian diinterpretasikan menggunakan GIS dan diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanannya terhadap tanah longsor.

d. Perhitungan Parameter Curah Hujan

Curah hujan merupakan jumlah air hujan yang jatuh pada suatu wilayah dalam periode tertentu yang dinyatakan dalam satuan milimeter (mm).

Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, curah hujan merupakan salah satu faktor utama penyebab terjadinya tanah longsor karena dapat meningkatkan kadar air tanah, mengurangi kuat geser tanah, dan meningkatkan tekanan air pori.

Oleh karena itu, data curah hujan digunakan sebagai salah satu parameter dalam analisis bahaya tanah longsor.

Pada penelitian ini, parameter curah hujan diperoleh dari data curah hujan wilayah penelitian yang kemudian diklasifikasikan sesuai dengan kriteria penilaian.

e. Perhitungan Parameter Tutupan Lahan

Kondisi geologi menggambarkan jenis dan karakteristik batuan penyusun suatu wilayah yang memengaruhi tingkat kestabilan lereng.

Menurut Badan Geologi, karakteristik litologi dan struktur geologi berperan dalam menentukan tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap gerakan tanah.

Pada penelitian ini, parameter geologi diperoleh dari peta geologi regional yang kemudian diinterpretasikan menggunakan GIS dan diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanannya terhadap tanah longsor.

f. Perhitungan Parameter Elevasi

Elevasi merupakan tinggi suatu lokasi terhadap permukaan laut yang dinyatakan dalam meter di atas permukaan laut (mdpl).

Menurut Badan Informasi Geospasial, data elevasi diperoleh dari Digital Elevation Model (DEM) yang menggambarkan bentuk permukaan bumi secara digital.

Dalam kajian tanah longsor, elevasi digunakan sebagai salah satu parameter bahaya karena berkaitan dengan kondisi morfologi wilayah serta proses geomorfologi yang memengaruhi kestabilan lereng.

Pada penelitian ini, nilai parameter elevasi diperoleh melalui pengolahan data DEM menggunakan GIS, kemudian diklasifikasikan berdasarkan kelas yang digunakan dalam penelitian.

2.4.2 Perhitungan Variabel Kerentanan

Menurut Sugiyono (2019), pengolahan data kuantitatif dilakukan melalui proses tabulasi dan perhitungan statistik untuk memperoleh nilai yang dapat mewakili kondisi suatu objek penelitian. Salah satu ukuran pemusatan data yang paling banyak digunakan adalah rata-rata aritmatika (Arithmetic Mean**)**, yaitu nilai yang diperoleh dari hasil penjumlahan seluruh data kemudian dibagi dengan banyaknya data pengamatan. Penggunaan rata-rata bertujuan menghasilkan nilai representatif dari beberapa hasil pengamatan sehingga dapat digunakan sebagai dasar analisis lebih lanjut.

Sejalan dengan itu, Ronald E. Walpole dkk. (2012) menjelaskan bahwa rata-rata aritmatika merupakan ukuran pemusatan data yang paling sederhana dan paling umum digunakan untuk mewakili sekumpulan data kuantitatif karena mempertimbangkan seluruh nilai pengamatan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini metode rata-rata aritmatika digunakan untuk menghitung nilai

setiap parameter yang diperoleh dari beberapa titik pengamatan pada setiap segmen jalan.

Sebelum nilai variabel kerentanan ditentukan, masing-masing parameter penyusunnya dihitung terlebih dahulu. Variabel kerentanan pada penelitian ini terdiri atas tiga parameter, yaitu kondisi fisik jalan, geometri jalan, dan kepadatan bangunan. Parameter yang diperoleh melalui beberapa titik pengamatan lapangan dihitung menggunakan metode rata-rata aritmatika sehingga diperoleh satu nilai yang mewakili kondisi setiap segmen jalan. Selanjutnya, nilai dari masing-masing parameter digabungkan untuk memperoleh nilai variabel kerentanan yang akan digunakan dalam proses pembobotan menggunakan metode AHP dan analisis spasial menggunakan GIS.

a. Perhitungan Parameter Kondisi Fisik Jalan

Nilai parameter kondisi fisik jalan diperoleh melalui penggabungan dua indikator, yaitu kondisi perkerasan jalan dan kondisi drainase. Sebelum digunakan dalam proses analisis, masing-masing indikator terlebih dahulu dihitung berdasarkan hasil observasi lapangan pada setiap titik pengamatan untuk memperoleh nilai yang mewakili kondisi setiap segmen jalan.

Menurut Montgomery dan Runger (2020), penggabungan beberapa indikator yang memiliki tingkat kepentingan yang sama dapat dilakukan menggunakan metode rata-rata aritmatika (Arithmetic Mean), sehingga setiap indikator memberikan kontribusi yang proporsional terhadap nilai parameter.

Berdasarkan konsep tersebut, perumusan parameter kondisi fisik jalan pada penelitian ini dilakukan melalui tahapan perhitungan kondisi perkerasan jalan dan kondisi drainase, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan nilai kondisi fisik jalan.

Perhitungan Nilai Rata - rata Kondisi Perkerasan Jalan

Parameter kondisi perkerasan jalan diperoleh dari hasil penilaian terhadap kondisi permukaan perkerasan pada beberapa titik pengamatan di setiap segmen jalan. Untuk memperoleh satu nilai yang mewakili kondisi

perkerasan pada setiap segmen, digunakan metode rata-rata aritmatika (Arithmetic Mean).

Menurut Walpole et al. (2012), rata-rata aritmatika merupakan ukuran pemusatan data yang diperoleh dari penjumlahan seluruh nilai pengamatan kemudian dibagi dengan jumlah data, sehingga menghasilkan nilai yang representatif terhadap keseluruhan data pengamatan.

Berdasarkan konsep tersebut, nilai rata-rata kondisi perkerasan jalan dihitung menggunakan Persamaan sebagai berikut:

= —— ..... *(2.3)*

Keterangan:

: Nilai rata – rata skor

: jumlah seluruh skor titik pengamatan

: jumlah titik pengamatan dalam satu segmen

Perhitungan Nilai Rata - rata Kondisi Drainase

Perhitungan parameter kondisi drainase dilakukan dengan prinsip yang sama seperti kondisi perkerasan jalan, yaitu menggunakan hasil penilaian pada beberapa titik pengamatan dalam satu segmen jalan. Penggunaan metode rata-rata aritmatika bertujuan untuk memperoleh satu nilai yang dapat mewakili kondisi drainase secara keseluruhan pada setiap segmen. Menurut Montgomery dan Runger (2020), metode rata-rata sederhana sesuai digunakan apabila setiap data pengamatan memiliki bobot atau tingkat kepentingan yang sama. Oleh karena itu, nilai parameter kondisi drainase dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

Perhitungan Nilai Kondisi Fisik Jalan

Setelah nilai parameter kondisi perkerasan jalan dan kondisi drainase diperoleh, kedua parameter tersebut digabungkan untuk menghasilkan nilai kondisi fisik jalan. Penggabungan dilakukan menggunakan metode rata-rata aritmatika karena kedua parameter dianggap memiliki kontribusi yang sama dalam menggambarkan kondisi fisik ruas jalan.

Rumus persamaan yang digunakan untuk memperoleh nilai kondisi fisik jalan adalah sebagai berikut.

KFJ = ——— ..... *(2.4)*

Keterangan:

KF: Nilai kondisi fisik jalan

KP: Nilai kondisi perkerasan jalan

KD: Nilai kondisi drainase

Nilai kondisi fisik jalan yang diperoleh kemudian diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori berdasarkan interval kelas yang telah ditetapkan. Klasifikasi tersebut bertujuan untuk mengubah hasil pengukuran lapangan menjadi skor yang seragam sehingga dapat digunakan pada proses pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS). Semakin buruk kondisi perkerasan dan drainase, maka semakin tinggi tingkat kerentanan ruas jalan terhadap potensi dampak tanah longsor.

b. Perhitungan Parameter Geometri Jalan

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (1997), unsur geometrik jalan, khususnya lebar perkerasan dan lebar bahu jalan, merupakan komponen yang memengaruhi tingkat pelayanan, keselamatan, dan kenyamanan pengguna jalan. Oleh karena itu, sebelum diperoleh nilai parameter geometri jalan, masing-masing indikator terlebih dahulu dihitung untuk mendapatkan nilai representatif setiap segmen, kemudian digabungkan menjadi nilai geometri jalan.

Perhitungan Lebar Jalan

Lebar jalan diperoleh dari hasil pengukuran pada beberapa titik pengamatan di setiap segmen jalan. Untuk memperoleh satu nilai yang mewakili kondisi lebar jalan pada setiap segmen, digunakan metode rata-rata aritmatika (*Arithmetic Mean*).

Menurut Walpole et al. (2012), rata-rata aritmatika merupakan ukuran pemusatan data yang diperoleh dengan menjumlahkan seluruh hasil

pengamatan kemudian membaginya dengan jumlah data, sehingga menghasilkan nilai yang representatif terhadap kondisi keseluruhan.

Berdasarkan konsep tersebut, nilai rata-rata parameter lebar jalan dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

Perhitungan Lebar Bahu Jalan

Parameter lebar bahu jalan dihitung berdasarkan hasil pengukuran pada beberapa titik pengamatan di setiap segmen jalan. Sama halnya dengan parameter lebar jalan, nilai representatif lebar bahu jalan diperoleh menggunakan metode rata-rata aritmatika karena seluruh titik pengamatan dianggap memiliki tingkat kepentingan yang sama.

Dengan demikian, nilai rata-rata parameter lebar bahu jalan dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

Perhitungan Nilai Geometri Jalan

Setelah nilai parameter lebar jalan dan lebar bahu jalan diperoleh, kedua parameter tersebut digabungkan untuk menghasilkan nilai geometri jalan.

Penggabungan dilakukan menggunakan rata-rata aritmatika karena kedua indikator dianggap memiliki kontribusi yang sama dalam merepresentasikan karakteristik geometrik ruas jalan.

Menurut Montgomery dan Runger (2020), rata-rata aritmatika dapat digunakan untuk menggabungkan beberapa indikator yang memiliki bobot yang sama sehingga menghasilkan satu nilai representatif sebagai dasar analisis. Oleh karena itu, nilai geometri jalan dihitung menggunakan Persamaan sebagai berikut:

Persamaan yang digunakan untuk meneghitung nilai geometri jalan adalah sebagai berikut:

GJ = ——— ..... *(2.5)*

Keterangan:

GJ: Nilai geometri jalan

LJ: Nilai Lebar badan jalan

LB: Nilai Lebar Bahu Jalan

c. Perhitungan Nilai Parameter Kepadatan Bangunan

Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2012), kepadatan bangunan merupakan salah satu indikator kerentanan fisik yang menunjukkan potensi besarnya dampak yang ditimbulkan apabila terjadi bencana pada suatu wilayah. Semakin tinggi kepadatan bangunan di sekitar lokasi penelitian, maka semakin besar tingkat kerentanan fisik terhadap ancaman bencana.

Dalam penelitian ini, parameter kepadatan bangunan diperoleh melalui analisis spasial menggunakan *Geographic Information System (GIS)* dengan mengidentifikasi jumlah bangunan yang berada di sekitar ruas jalan pada setiap segmen penelitian. Hasil identifikasi selanjutnya dibandingkan dengan klasifikasi yang telah ditetapkan untuk menentukan skor parameter kepadatan bangunan. Apabila pada suatu segmen tidak ditemukan bangunan, maka segmen tersebut diberikan nilai sesuai dengan kelas kepadatan bangunan terendah berdasarkan kriteria penilaian yang digunakan dalam penelitian.

2.4.3 Perhitungan Variabel Keterpaparan

Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2012), keterpaparan menunjukkan tingkat keberadaan objek yang memiliki potensi mengalami kerugian apabila terjadi bencana. Semakin tinggi tingkat keterpaparan suatu wilayah, maka semakin besar potensi dampak yang dapat ditimbulkan.

Dalam penelitian ini, variabel keterpaparan disusun berdasarkan tiga parameter, yaitu Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)**,** kepadatan penduduk, dan aktivitas sosial ekonomi. Parameter yang diperoleh dari hasil survei lapangan dihitung terlebih dahulu untuk memperoleh nilai representatif, sedangkan parameter yang diperoleh melalui analisis data sekunder dan interpretasi spasial diklasifikasikan berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan. Selanjutnya, seluruh parameter digabungkan untuk memperoleh nilai variabel keterpaparan yang digunakan dalam analisis risiko tanah longsor.

a. Perhitungan Parameter Volume Lalu Lintas Harian Rata – rata

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (1997), LHR adalah jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pengamatan selama periode tertentu yang dinyatakan sebagai rata-rata volume lalu lintas harian. Nilai LHR digunakan sebagai indikator tingkat pemanfaatan jalan, di mana semakin tinggi volume kendaraan yang melintas maka semakin besar potensi keterpaparan terhadap gangguan atau kerusakan infrastruktur akibat bencana.

Pada penelitian ini, data lalu lintas diperoleh melalui survei pencacahan kendaraan pada lokasi penelitian selama periode pengamatan yang telah ditentukan. Selanjutnya, volume kendaraan hasil survei dihitung untuk memperoleh nilai rata-rata menggunakan metode rata-rata aritmatika (*Arithmetic Mean*). Menurut Walpole et al. (2012), metode rata-rata aritmatika digunakan untuk memperoleh nilai representatif dari sejumlah data hasil pengamatan dengan menjumlahkan seluruh nilai kemudian membaginya dengan jumlah data pengamatan. Berdasarkan konsep tersebut, perhitungan volume kendaraan rata-rata dilakukan menggunakan Persamaan sebagai berikut:

= —— ..... *(2.6)*

Keterangan:

: Volume kendaraan rata – rata

: Volume kendaraan hasil survey pada pengamatan ke – i

: jumlah hari atau periode pengamatan.

Konversi Volume Kendaraan menjadi LHR 24 Jam

Apabila survei lalu lintas tidak dilakukan selama 24 jam penuh, maka volume kendaraan hasil survei perlu dikonversi menjadi Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) menggunakan faktor konversi yang sesuai. Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997)**,** data hasil survei pada periode tertentu dapat dikonversikan menjadi LHR menggunakan faktor konversi yang disesuaikan dengan durasi dan karakteristik survei lalu lintas. Konversi

tersebut bertujuan agar volume kendaraan yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi lalu lintas harian pada ruas jalan yang ditinjau.

= × ..... *(2.7)*

Keterangan:

: Lalu lintas Harian Rata – rata Selama 24 Jam (Kendaraan/hari)

Volume kendaraan rata – rata

: Faktor Konversi

b. Perhitungan Parameter Kepadatan Penduduk

Kepadatan penduduk merupakan salah satu parameter keterpaparan yang digunakan untuk menggambarkan jumlah penduduk yang berpotensi terdampak apabila terjadi bencana pada suatu wilayah. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) (2012), kepadatan penduduk merupakan indikator penting dalam penilaian keterpaparan karena menunjukkan konsentrasi penduduk pada suatu kawasan yang berpotensi mengalami dampak akibat bencana. Semakin tinggi kepadatan penduduk pada suatu wilayah, maka semakin besar tingkat keterpaparan terhadap risiko bencana.

Dalam penelitian ini, parameter kepadatan penduduk diperoleh berdasarkan data jumlah penduduk pada wilayah penelitian yang selanjutnya dianalisis dan diklasifikasikan sesuai dengan kriteria penilaian yang digunakan. Penentuan nilai parameter dilakukan dengan membandingkan data kepadatan penduduk terhadap klasifikasi tingkat keterpaparan sehingga diperoleh skor yang digunakan sebagai masukan dalam analisis risiko.

c. Perhitungan Parameter Aktivitas Sosial Ekonomi

Aktivitas sosial ekonomi merupakan salah satu parameter keterpaparan yang menunjukkan tingkat intensitas kegiatan masyarakat pada suatu wilayah yang berpotensi terdampak apabila terjadi bencana. Menurut BNPB (2012), aktivitas sosial ekonomi mencerminkan keberadaan fasilitas dan kegiatan masyarakat yang memiliki nilai strategis, seperti kawasan permukiman, fasilitas pendidikan, fasilitas kesehatan, pusat perdagangan, perkantoran, maupun fasilitas pelayanan umum lainnya. Semakin tinggi intensitas aktivitas

sosial ekonomi pada suatu wilayah, maka semakin besar tingkat keterpaparan terhadap bencana.

Dalam penelitian ini, parameter aktivitas sosial ekonomi diperoleh melalui identifikasi keberadaan fasilitas dan aktivitas masyarakat di sekitar ruas jalan penelitian menggunakan survei lapangan serta analisis spasial. Selanjutnya, hasil identifikasi diklasifikasikan berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan untuk memperoleh skor parameter aktivitas sosial ekonomi yang digunakan dalam analisis risiko.

d. Perhitungan Nilai Variabel Keterpaparan

Setelah seluruh parameter penyusun variabel keterpaparan diperoleh, yaitu Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR), kepadatan penduduk, dan aktivitas sosial ekonomi, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai variabel keterpaparan. Menurut Montgomery dan Runger (2020), apabila beberapa indikator memiliki tingkat kepentingan yang sama, maka nilai variabel dapat diperoleh menggunakan metode rata-rata aritmatika sehingga setiap indikator memberikan kontribusi yang proporsional terhadap nilai akhir variabel. Oleh karena itu, nilai keterpaparan pada penelitian ini dihitung menggunakan Persamaan sebagai berikut:

$$= \frac{\qquad}{\qquad} \qquad \text{..... } (2.8)$$

Keterangan:

E: Nilai variabel keterpaparan

LHR: Nilai parameter Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata

KP: Nilai parameter kepadatan penduduk

ASE: Nilai parameter aktivitas sosial ekonomi

2.5 Klasifikasi dan Skoring Parameter Penelitian

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 12 parameter yang dikelompokkan kedalam tiga variable yang memiliki satuan pengukuran, karakteristik, serta rentang nilai yang berbeda. Perbedaan tersebut menyebabkan nilai masing-masing parameter tidak dapat

dibandingkan maupun diolah secara langsung dalam proses pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Oleh karena itu, diperlukan proses klasifikasi dan skoring untuk menyeragamkan seluruh parameter ke dalam skala penilaian yang sama.

Penentuan kelas pada penelitian ini menggunakan metode ***Equal Interval***, yaitu metode klasifikasi yang membagi rentang data menjadi interval dengan panjang yang sama. Metode ini dipilih karena mampu memberikan pembagian kelas yang objektif serta memudahkan proses interpretasi nilai setiap parameter. Menurut ESRI (2024)**,** metode ***Equal Interval*** mengelompokkan data berdasarkan rentang nilai yang sama sehingga sesuai digunakan pada data yang memiliki distribusi relatif merata dan bertujuan untuk menyederhanakan proses klasifikasi. Besarnya interval kelas dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I = \frac{\quad}{\quad} \qquad \text{..... } (2.9)$$

Keterangan:

I: Panjang interval kelas

: Nilai maksimum

: Nilai Minimum

: Jumlah Kelas

Pada penelitian ini, hasil perhitungan interval selanjutnya dikelompokkan menjadi tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Pengelompokan menjadi tiga kelas mengacu pada Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, yang mengklasifikasikan tingkat bahaya, kerentanan, keterpaparan, dan risiko ke dalam tiga kategori utama.

Untuk memudahkan proses pembobotan menggunakan metode AHP, setiap kelas selanjutnya direpresentasikan dalam bentuk skor, yaitu skor 1 untuk kategori rendah, skor 2 untuk kategori sedang, dan skor 3 untuk kategori tinggi. Pemberian skor tersebut merupakan bentuk transformasi data ke dalam skala ordinal sehingga seluruh parameter dapat dibandingkan dan diintegrasikan pada tahap pembobotan. Dengan demikian, semakin tinggi

skor suatu parameter, maka semakin besar kontribusinya terhadap tingkat risiko tanah longsor pada lokasi penelitian.

Kategori	Skor
Rendah	1
Sedang	2
Tinggi	3

Berdasarkan klasifikasi tersebut, seluruh parameter penelitian disusun ke dalam tabel klasifikasi sebagai dasar pemberian skor yang selanjutnya digunakan pada proses pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS).

2.6 *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan metode pengambilan keputusan multikriteria yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1977. Metode ini dirancang untuk membantu proses pengambilan keputusan yang melibatkan banyak kriteria dengan cara menyusun permasalahan ke dalam suatu struktur hierarki, kemudian menentukan tingkat kepentingan relatif setiap kriteria melalui proses perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Menurut Saaty (2008)**,** AHP mampu mengubah penilaian yang bersifat kualitatif menjadi nilai kuantitatif sehingga menghasilkan bobot prioritas yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan secara objektif dan sistematis.

Keunggulan metode AHP terletak pada kemampuannya mengakomodasi pertimbangan para ahli (*expert judgment*) dalam menentukan tingkat kepentingan masing-masing kriteria. Selain menghasilkan bobot prioritas, metode ini juga menyediakan pengujian konsistensi melalui *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR) sehingga tingkat konsistensi penilaian responden dapat diketahui. Apabila nilai *Consistency Ratio* (CR) ≤ 0,10**,** maka hasil penilaian dianggap konsisten dan dapat digunakan dalam proses analisis.

AHP banyak digunakan dalam analisis risiko bencana karena mampu mengintegrasikan berbagai parameter yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif secara sistematis.

Dalam penelitian ini, metode AHP digunakan untuk menentukan bobot dari parameter *hazard*, *vulnerability*, dan *exposure* yang memengaruhi risiko tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara. Pembobotan dilakukan berdasarkan penilaian lima responden ahli melalui matriks perbandingan berpasangan. Bobot yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai input pada analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS) untuk menghasilkan peta risiko tanah longsor dan menentukan zona prioritas penanganan.

2.6.1 Pengertian dan Prinsip Dasar *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan metode pengambilan keputusan multikriteria (*Multi-Criteria Decision Making/MCDM*) yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1977. Metode ini digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang kompleks dengan menguraikan suatu permasalahan ke dalam struktur hierarki, kemudian menentukan tingkat kepentingan relatif setiap kriteria melalui proses perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Menurut Saaty (1980), AHP mampu mengubah penilaian yang bersifat kualitatif menjadi nilai kuantitatif sehingga menghasilkan bobot prioritas yang dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan secara sistematis dan objektif.

Metode AHP banyak digunakan dalam berbagai bidang penelitian karena memiliki kemampuan untuk mengakomodasi pertimbangan para ahli (*expert judgment*) dalam menentukan tingkat kepentingan suatu kriteria. Selain menghasilkan bobot prioritas, AHP juga menyediakan mekanisme untuk menguji tingkat konsistensi penilaian responden sehingga hasil pembobotan yang diperoleh memiliki tingkat keandalan yang dapat dipertanggungjawabkan. Menurut Saaty (2008), proses pembobotan dalam AHP dilakukan melalui matriks perbandingan berpasangan yang kemudian

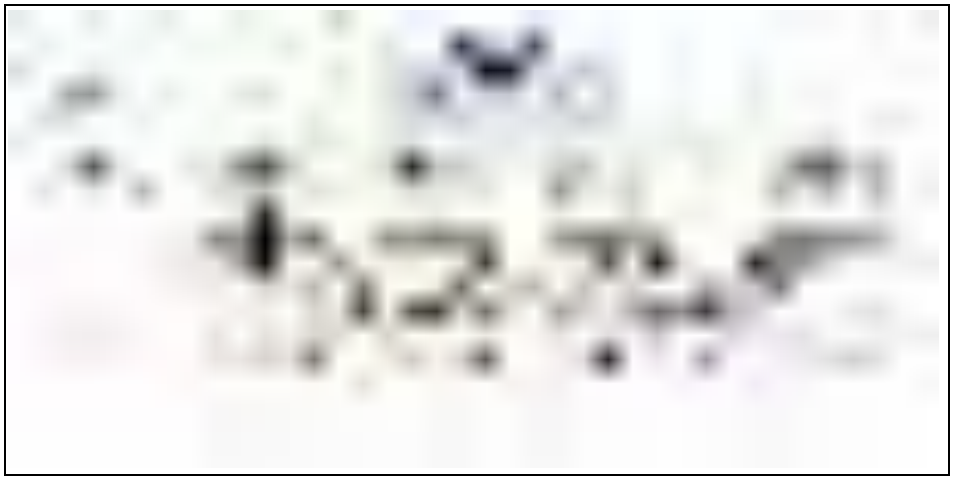
dianalisis untuk memperoleh nilai prioritas serta mengukur tingkat konsistensinya

Dalam penelitian ini, metode AHP digunakan untuk menentukan bobot masing-masing parameter yang memengaruhi risiko tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara, Kabupaten Bulungan. Parameter yang dianalisis meliputi aspek bahaya, kerentanan, dan keterpaparan yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS). Bobot prioritas yang diperoleh dari metode AHP menjadi dasar dalam menentukan tingkat kontribusi setiap parameter terhadap risiko tanah longsor sehingga menghasilkan analisis risiko yang lebih objektif dan terukur.

Menurut Saaty (2008), metode AHP dibangun atas tiga prinsip dasar yang saling berkaitan, yaitu penyusunan hierarki (*decomposition*), penilaian perbandingan berpasangan (*comparative judgment*), dan konsistensi logis (*logical consistency*). Ketiga prinsip tersebut menjadi dasar dalam proses pembobotan sehingga mampu menghasilkan prioritas yang konsisten dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Penjelasan mengenai masing-masing prinsip dasar AHP diuraikan pada subbab berikut.

a. Penyusunan Hierarki (*Decomposition*)

Tahap awal dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah menyusun permasalahan ke dalam suatu struktur hierarki. Menurut Saaty (2008), hierarki digunakan untuk menguraikan permasalahan yang kompleks menjadi beberapa tingkatan yang terdiri atas tujuan (*goal*), kriteria, subkriteria, hingga alternatif keputusan. Penyusunan hierarki bertujuan untuk mempermudah proses analisis hubungan antar unsur yang memengaruhi pengambilan keputusan.



Sumber. Saaty (1980)

Gambar 2.1 Struktur Hierarki Metode Analytical Hierarchy Process

b. Penilaian Perbandingan Berpasangan (*Comparative Judgment*)

Setelah struktur hierarki disusun, prinsip berikutnya dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah melakukan penilaian perbandingan berpasangan (*comparative judgment*). Menurut Saaty (2008), proses ini bertujuan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif antar kriteria maupun subkriteria dengan membandingkan dua elemen pada satu waktu (*pairwise comparison*). Melalui pendekatan ini, responden diminta memberikan penilaian mengenai kriteria mana yang lebih penting beserta tingkat kepentingannya terhadap pencapaian tujuan penelitian.

Penilaian dilakukan menggunakan Skala Fundamental Saaty yang memiliki rentang nilai 1 sampai 9, di mana setiap nilai mencerminkan tingkat kepentingan relatif suatu kriteria terhadap kriteria lainnya. Hasil penilaian tersebut kemudian disusun ke dalam matriks perbandingan berpasangan yang menjadi dasar dalam proses normalisasi dan perhitungan bobot prioritas. Menurut Saaty (1980), metode perbandingan berpasangan mampu mengubah penilaian subjektif para ahli menjadi nilai kuantitatif sehingga hubungan antar kriteria dapat dianalisis secara sistematis.

c. Konsistensi Logis (*Logical Consistency*)

Prinsip ketiga dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah konsistensi logis (*logical consistency*). Menurut Saaty (2008), konsistensi merupakan ukuran yang menunjukkan sejauh mana penilaian

yang diberikan oleh responden memiliki hubungan yang logis dan tidak saling bertentangan. Pengujian konsistensi diperlukan karena proses perbandingan berpasangan melibatkan penilaian subjektif, sehingga terdapat kemungkinan terjadinya inkonsistensi dalam pemberian nilai antar kriteria.

Dalam metode AHP, tingkat konsistensi penilaian diukur melalui *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR**)**. Nilai *Consistency Ratio* (CR) digunakan untuk menentukan apakah hasil penilaian responden telah memenuhi tingkat konsistensi yang dapat diterima. Menurut Saaty (2008), suatu matriks perbandingan berpasangan dinyatakan konsisten apabila nilai CR ≤ 0,10. Apabila nilai CR melebihi 0,10, maka penilaian yang diberikan perlu ditinjau kembali agar bobot prioritas yang dihasilkan lebih representatif dan dapat dipertanggungjawabkan.

2.6.2 Skala Fundamental Saaty

Setelah struktur hierarki disusun, langkah berikutnya dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah memberikan penilaian terhadap tingkat kepentingan antar kriteria menggunakan Skala Fundamental Saaty**.** Menurut Saaty (2008), skala fundamental merupakan skala numerik yang digunakan untuk mengubah penilaian subjektif para ahli menjadi nilai kuantitatif sehingga hubungan tingkat kepentingan antar kriteria dapat dianalisis secara matematis. Skala ini terdiri atas nilai 1 sampai 9, di mana setiap nilai memiliki makna yang menunjukkan tingkat kepentingan relatif suatu kriteria dibandingkan dengan kriteria lainnya.

Angka ini berasal dari skala yang dibuat oleh Thomas L. Saaty

1 → sama penting

3 → sedikit lebih penting

5 → lebih penting

7 → sangat penting

9 → mutlak paling penting

Tabel 2.2 Skala Perbandingan Saaty

Nilai	Keterangan
1	Sama penting
3	Sedikit lebih penting
5	Lebih penting
7	Sangat penting
9	Mutlak lebih penting
2,4,6.8	Nilai antara

Sumber. Diolah dari Saaty (1980)

Nilai 1 menunjukkan bahwa dua kriteria memiliki tingkat kepentingan yang sama, sedangkan nilai 3**,** 5**,** 7, dan 9 masing-masing menunjukkan tingkat kepentingan yang meningkat dari sedikit lebih penting hingga mutlak lebih penting. Sementara itu, nilai 2**,** 4**,** 6, dan 8 digunakan sebagai nilai kompromi di antara dua tingkat kepentingan yang berdekatan. Penggunaan skala tersebut bertujuan untuk memperoleh penilaian yang lebih objektif dan konsisten dalam menyusun matriks perbandingan berpasangan.

Dalam metode AHP, apabila suatu kriteria memiliki tingkat kepentingan sebesar terhadap kriteria lainnya, maka nilai perbandingan sebaliknya harus memenuhi sifat resiprokal (*reciprocal property*). Hubungan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

= — .....*(2.10)*

Keterangan:

: Nilai perbandingan elemen I terhadap elemen j

: Nilai Perbandingan elemen j terhadap i

Sifat resiprokal tersebut merupakan karakteristik utama dalam penyusunan matriks perbandingan berpasangan sehingga setiap nilai yang diberikan oleh responden akan memiliki hubungan kebalikan terhadap posisi sebaliknya pada matriks. Dengan demikian, matriks yang terbentuk memenuhi prinsip dasar metode AHP sebagaimana dikemukakan oleh Saaty.

a. Fungsi Skala Saaty

Penggunaan skala Saaty dalam penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengkuantifikasi tingkat kepentingan antar parameter
2. Mengurangi subjektivitas dalam penilaian
3. Menyusun matriks perbandingan berpasangan secara sistematis
4. Menjadi dasar dalam perhitungan bobot menggunakan metode AHP

Dalam konteks penelitian, skala Saaty digunakan untuk membandingkan parameter bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*, dan keterpaparan (*exposure*) yang mempengaruhi risiko longsor pada infrastruktur jalan.

2.6.3 Matriks Perbandingan Berpasangan

Matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*) merupakan tahapan utama dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif antar kriteria. Metode ini dikembangkan oleh Thomas L. Saaty, yang menyatakan bahwa pengambilan keputusan yang kompleks dapat disederhanakan melalui perbandingan dua elemen secara sistematis berdasarkan tingkat preferensi.

Secara teoritis, matriks perbandingan berpasangan disusun dengan membandingkan setiap kriteria terhadap kriteria lainnya menggunakan skala fundamental Saaty (1–9).

Dalam konteks penelitian kebencanaan, penggunaan matriks perbandingan berpasangan sejalan dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana serta pedoman BNPB (2020) yang menekankan pentingnya analisis risiko secara sistematis dan terukur dalam mendukung upaya mitigasi bencana. Melalui pendekatan ini, variabel risiko seperti *hazard*, *vulnerability*, dan *exposure* dapat diberikan bobot sesuai tingkat kepentingannya.

Tabel 2.3 Matriks perbandingan berpasangan

variabel	H	V	E
H	1	3	5
V	1/3	1	3
E	1/5	1/3	1

Sumber. Diolah dari metode AHP menurut Saaty (1980)

Matriks menunjukkan tingkat kepentingan relatif antar kriteria. Nilai **3** (tiga) antara *hazard* dan *vulnerability* berarti *hazard* sedikit lebih penting, karena potensi longsor merupakan faktor utama risiko, sedangkan kerentanan hanya mempengaruhi besarnya dampak

Nilai 5 (lima) pada perbandingan *hazard* terhadap *exposure* menunjukkan bahwa *hazard* lebih dominan dibandingkan *exposure*. Secara logis, tanpa adanya kejadian longsor, maka tingkat keterpaparan tidak akan menimbulkan risiko, sehingga *hazard* memiliki peran yang lebih signifikan.

Sementara itu, nilai 3 (tiga) pada perbandingan antara *vulnerability* dan *exposure* menunjukkan bahwa kondisi fisik jalan lebih berpengaruh terhadap risiko dibandingkan tingkat penggunaan, karena jalan yang lemah lebih rentan mengalami kerusakan akibat longsor. Dengan kata lain, jalan yang memiliki kondisi fisik lemah akan lebih rentan mengalami kerusakan akibat longsor dibandingkan jalan dengan tingkat penggunaan tinggi.

Nilai-nilai yang berada di bawah diagonal merupakan kebalikan dari nilai di atas diagonal, sesuai dengan sifat resiprokal dalam matriks AHP. Sebagai contoh, jika nilai *hazard* terhadap *vulnerability* adalah **3** (tiga), maka nilai *vulnerability* terhadap *hazard* adalah 1/3 (satu per tiga).

2.6.4 Normalisasi Matriks

Setelah matriks perbandingan berpasangan terbentuk, tahapan selanjutnya dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah melakukan normalisasi matriks. Menurut Saaty (1980)**,** normalisasi matriks

merupakan proses mengubah nilai pada matriks perbandingan berpasangan menjadi nilai proporsional dengan cara membagi setiap elemen matriks terhadap jumlah nilai pada kolom yang bersesuaian. Proses ini bertujuan untuk menyamakan skala setiap elemen matriks sehingga dapat digunakan dalam perhitungan bobot prioritas masing-masing kriteria.

Normalisasi dilakukan karena nilai pada matriks perbandingan berpasangan masih berupa nilai relatif hasil penilaian responden. Dengan mengubah nilai tersebut ke dalam bentuk proporsi, setiap kriteria dapat dibandingkan secara lebih objektif tanpa dipengaruhi oleh besarnya nilai pada masing-masing kolom. Menurut Saaty (2008), hasil normalisasi matriks menjadi dasar dalam menentukan vektor prioritas (*priority vector*) yang menggambarkan tingkat kepentingan relatif setiap kriteria terhadap tujuan penelitian. Proses normalisasi matriks dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$= \frac{\quad}{\quad} \qquad \text{.....} \textit{(2.11)}$$

Keterangan:

: Nilai hasil normalisasi pada baris ke – I dan kolom ke – j

: Nilai elemen matriks perbandingan berpasangan pada baris ke – i dan kolom ke – j

: jumlah seluruh elemen pada kolom ke – j

: jumlah kriteria atau subkriteria yang dibandingkan

Hasil normalisasi menghasilkan matriks baru yang seluruh elemennya berada dalam bentuk proporsi. Matriks tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung bobot prioritas (*priority vector*) setiap kriteria melalui rata-rata nilai pada setiap baris. Bobot prioritas yang diperoleh menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing kriteria dalam mendukung tujuan penelitian.

Pada penelitian ini, proses normalisasi dilakukan terhadap setiap matriks perbandingan berpasangan yang diperoleh dari masing-masing responden. Hasil normalisasi kemudian digunakan sebagai dasar dalam

menghitung bobot prioritas setiap parameter sebelum dilakukan pengujian konsistensi menggunakan *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR).

2.6.5 Perhitungan Bobot Prioritas (*Priority Vector*)

Setelah proses normalisasi matriks selesai dilakukan, tahap berikutnya dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah menghitung bobot prioritas (*priority vector*) atau vektor prioritas. Menurut Saaty (1980), bobot prioritas merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing kriteria terhadap tujuan yang ingin dicapai. Nilai tersebut diperoleh dari rata-rata setiap baris pada matriks hasil normalisasi sehingga menghasilkan proporsi kontribusi masing-masing kriteria dalam proses pengambilan keputusan.

Bobot prioritas menggambarkan besarnya pengaruh suatu kriteria dibandingkan dengan kriteria lainnya. Semakin besar nilai bobot prioritas yang diperoleh, maka semakin besar pula tingkat kepentingan kriteria tersebut dalam mendukung tujuan penelitian. Oleh karena itu, bobot prioritas menjadi dasar dalam menentukan urutan prioritas setiap parameter yang dianalisis menggunakan metode AHP.

Menurut Saaty (2008), bobot prioritas dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai hasil normalisasi pada setiap baris, kemudian membaginya dengan jumlah kriteria yang dibandingkan. Secara matematis, bobot prioritas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$= \frac{\qquad}{\qquad} \qquad \text{.....} (2.12)$$

Keterangan:

: Bobot prioritas kriteria ke – i

: Nilai hasil normalisasi pada baris ke-*i* dan kolom ke-*j*

: Jumlah kriteria atau subkriteria yang dibandingkan.

Hasil perhitungan bobot prioritas berupa nilai desimal dengan jumlah keseluruhan bobot sama dengan **1** atau **100%**. Nilai tersebut menunjukkan

tingkat kepentingan relatif masing-masing kriteria terhadap tujuan penelitian dan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pengujian konsistensi melalui perhitungan nilai eigen maksimum (*eigenvalue*), *Consistency Index* (CI), dan *Consistency Ratio* (CR).

2.6.6 Perhitungan Nilai Eigen Maksimum (λmaks)

Setelah bobot prioritas masing-masing kriteria diperoleh, tahap selanjutnya dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah menghitung nilai eigen maksimum (*maximum eigenvalue*), yang dilambangkan dengan λmaks. Menurut Saaty (1980), nilai λmaks digunakan untuk mengetahui tingkat konsistensi matriks perbandingan berpasangan yang telah disusun. Nilai ini menjadi dasar dalam pengujian konsistensi karena menggambarkan tingkat penyimpangan penilaian responden terhadap kondisi matriks yang konsisten sempurna.

Pada matriks yang memiliki tingkat konsistensi sempurna, nilai λmaks akan sama dengan jumlah kriteria yang dibandingkan (n). Namun, dalam praktiknya penilaian yang diberikan oleh responden sering kali mengandung tingkat inkonsistensi tertentu sehingga nilai λmaks umumnya sedikit lebih besar daripada jumlah kriteria. Oleh karena itu, perhitungan nilai eigen maksimum diperlukan sebagai tahap awal sebelum dilakukan pengujian menggunakan *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR)**.**

Dalam penelitian ini, nilai λmaks dihitung dengan mengalikan jumlah setiap kolom pada matriks perbandingan berpasangan dengan bobot prioritas dari masing-masing kriteria, kemudian menjumlahkan seluruh hasil perkalian tersebut. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

= .....*(2.13)*

Keterangan:

: Nilai eigen maksimum (*maximum eigenvalue*)

: Jumlah nilai pada kolom ke-j dari matriks perbandingan berpasangan

: Bobot prioritas kriteria ke – j

: Jumlah kriteria yang dibandingkan

Nilai λmaks yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung *Consistency Index* (CI) sebagai ukuran tingkat konsistensi penilaian pada matriks perbandingan berpasangan. Semakin kecil selisih antara nilai λmaks dengan jumlah kriteria, maka semakin baik tingkat konsistensi penilaian yang diberikan oleh responden. Sebaliknya, apabila nilai λmaks jauh lebih besar daripada jumlah kriteria, maka menunjukkan adanya tingkat inkonsistensi yang perlu dievaluasi kembali.

2.6.7 Uji Konsistensi *Consistency Index*

Setelah nilai eigen maksimum (λmaks) diperoleh, tahapan berikutnya dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah menghitung *Consistency Index* (CI)**.** Menurut Saaty (1980)**,** *Consistency Index* merupakan ukuran yang digunakan untuk mengetahui tingkat penyimpangan konsistensi pada matriks perbandingan berpasangan. Nilai CI menunjukkan sejauh mana penilaian yang diberikan oleh responden mendekati kondisi konsisten sempurna dalam proses pembobotan.

Pada metode AHP, penilaian yang diberikan oleh responden bersifat subjektif sehingga kemungkinan terjadinya inkonsistensi tidak dapat dihindari. Oleh karena itu, perhitungan CI diperlukan untuk mengukur besarnya penyimpangan antara nilai eigen maksimum (λmaks) dengan jumlah kriteria yang dibandingkan (n). Semakin kecil nilai CI yang diperoleh, maka semakin baik tingkat konsistensi matriks perbandingan berpasangan.

Menurut Saaty (2008), nilai *Consistency Index* (CI) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$CI = \frac{\quad}{\quad} \qquad \text{.....(2.14)}$$

Keterangan:

1. CI = *Consistency Index*
2. λmax = nilai eigen maksimum
3. n = jumlah kriteria

Nilai CI yang diperoleh belum dapat digunakan secara langsung untuk menentukan tingkat konsistensi penilaian. Nilai tersebut masih harus dibandingkan dengan *Random Index* (RI) melalui perhitungan *Consistency Ratio* (CR)**.** Oleh karena itu, hasil perhitungan CI menjadi dasar dalam tahap pengujian konsistensi berikutnya untuk mengetahui apakah matriks perbandingan berpasangan telah memenuhi tingkat konsistensi yang dapat diterima.

2.6.8 Perhitungan *Consistency Ratio* (CR)

Setelah diperoleh nilai *Consistency Index* (CI)**,** tahapan berikutnya dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah menghitung *Consistency Ratio* (CR). Menurut Saaty (1980)**,** *Consistency Ratio* merupakan ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat konsistensi penilaian responden dalam matriks perbandingan berpasangan. Nilai CR diperoleh dengan membandingkan nilai *Consistency Index* (CI) terhadap Random Index (RI)**,** yaitu indeks acak yang telah ditetapkan berdasarkan ukuran matriks.

Pengujian konsistensi dilakukan untuk memastikan bahwa penilaian yang diberikan oleh responden tidak bersifat acak dan memiliki hubungan yang logis antar kriteria. Menurut Saaty**,** semakin kecil nilai *Consistency Ratio* (CR) yang diperoleh, maka semakin tinggi tingkat konsistensi penilaian responden sehingga bobot prioritas yang dihasilkan dapat digunakan dalam proses pengambilan keputusan.

Nilai CR dihitung dengan rumus:

$$CR = —$$ .....*(2.15)*

Keterangan:

1 CR = Consistency Ratio

2 CI = Consistency Index

3 RI = Random Index (nilai acuan berdasarkan jumlah kriteria)

a. Nilai Random Index (RI)

Nilai RI merupakan indeks acak yang telah ditentukan oleh Saaty berdasarkan jumlah kriteria, seperti pada table berikut:

Tabel 2.4 Nilai Random Index

n	ri
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

Sumber. Saaty (1980)

b. Kriteria Konsistensi

Menurut Saaty, tingkat konsistensi dapat diterima apabila:

$$\mathbf{CR \leq 0{,}1}$$

Artinya:

CR $\leq$ 0,1: konsisten (dapat digunakan)

CR > 0,1: Tidak konsisten (perlu perbaikan nilai)

Uji konsistensi dalam metode AHP merupakan langkah penting untuk memastikan bahwa hasil penilaian yang digunakan dalam matriks perbandingan berpasangan bersifat logis dan dapat diterima. Dengan terpenuhinya nilai *Consistency Ratio* (CR) ≤ 0,1, maka hasil pembobotan dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis risiko secara lebih akurat dan terpercaya.

2.6.9 Penentuan Bobot Prioritas Akhir

Setelah dilakukan perhitungan bobot prioritas dan pengujian

konsistensi pada masing-masing matriks perbandingan berpasangan, langkah selanjutnya adalah menentukan bobot prioritas akhir yang akan digunakan dalam analisis risiko tanah longsor. Bobot prioritas akhir merupakan nilai yang mewakili tingkat kepentingan relatif setiap parameter berdasarkan hasil penilaian seluruh responden yang telah memenuhi kriteria konsistensi.

Pada penelitian ini, proses pembobotan dilakukan terhadap lima responden ahli yang memiliki kompetensi pada bidang kebencanaan, geoteknik, dan infrastruktur jalan. Setiap responden menyusun matriks perbandingan berpasangan secara independen, kemudian dihitung bobot prioritas, nilai eigen maksimum (λmaks), Consistency Index (CI), dan Consistency Ratio (CR). Hanya hasil penilaian yang memenuhi syarat Consistency Ratio (CR) ≤ 0,10 yang digunakan dalam proses penentuan bobot akhir.

Selanjutnya, bobot prioritas dari seluruh responden digabungkan menggunakan rata-rata aritmatika sehingga diperoleh satu nilai bobot yang mewakili seluruh penilaian responden. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh bobot prioritas akhir yang selanjutnya diterapkan dalam analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS).

Secara matematis, bobot prioritas akhir dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$= \frac{\quad}{\quad} \qquad \text{.....} \textit{(2.16)}$$

Keterangan:

: Bobot prioritas akhir

: Bobot prioritas hasil perhitungan responden ke-i

: Jumlah responden

Bobot prioritas akhir yang diperoleh menggambarkan tingkat kepentingan relatif setiap parameter dalam memengaruhi risiko tanah longsor. Nilai bobot tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses *weighted overlay* pada analisis *Geographic Information System* (GIS),

sehingga menghasilkan peta tingkat risiko dan zona prioritas penanganan pada lokasi penelitian.

2.6.10 Rekapitulasi Bobot Prioritas dan Penentuan Bobot Level 2 (L2)

Pada penelitian yang melibatkan lebih dari satu responden, setiap responden menghasilkan bobot prioritas berdasarkan hasil penilaian pada matriks perbandingan berpasangan. Oleh karena itu, diperlukan proses rekapitulasi untuk memperoleh satu nilai bobot yang mewakili keseluruhan hasil penilaian responden. Rekapitulasi dilakukan agar bobot yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pada tahap analisis berikutnya.

Rekapitulasi dilakukan menggunakan perhitungan kumulatif terhadap bobot prioritas yang diperoleh dari lima responden. Hasil perhitungan kumulatif kemudian dinormalisasi sehingga jumlah keseluruhan bobot menjadi 1,00 (100%)**.** Tahapan ini dilakukan untuk memperoleh bobot prioritas kumulatif yang mewakili hasil penilaian seluruh responden.

Hasil rekapitulasi bobot kumulatif digunakan sebagai dasar evaluasi pembobotan, sedangkan bobot Level 2 (L2) digunakan sebagai faktor pembobot pada proses analisis spasial menggunakan Geographic Information System (GIS)**.** Bobot Level 2 dipilih karena secara langsung merepresentasikan tingkat kepentingan masing-masing parameter pada hierarki kedua sehingga sesuai untuk proses integrasi dengan metode *weighted overlay* dalam penyusunan peta risiko tanah longsor.

= ..... *(2.17)*

Untuk subkriteria berikutnya:

= + ... *(2.18)*

Hasil perhitungan kumulatif selanjutnya dinormalisasi sehingga total bobot seluruh parameter menjadi 1,00 (100%)**.**

= ——— ..... *(2.19)*

2.7 *Geographic Information System* (GIS)

Geographic Information System (GIS) merupakan sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, mengelola, menganalisis, dan menampilkan data yang memiliki referensi geografis. GIS memungkinkan integrasi berbagai jenis data spasial dan non-spasial untuk menghasilkan informasi yang lebih komprehensif dalam pengambilan keputusan.

suatu sistem berbasis komputer yang digunakan untuk memperoleh, menyimpan, mengelola, memanipulasi, menganalisis, dan menyajikan data yang memiliki referensi geografis. Menurut Burrough dan McDonnell (1998), GIS merupakan seperangkat perangkat keras, perangkat lunak, data, metode, dan sumber daya manusia yang saling terintegrasi untuk mengelola informasi keruangan sehingga dapat mendukung proses analisis dan pengambilan keputusan.

Dalam konteks kebencanaan, GIS digunakan sebagai alat analisis spasial untuk memetakan distribusi bahaya, kerentanan, dan risiko bencana. Menurut pedoman Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2020), pemanfaatan GIS sangat penting dalam penyusunan peta risiko sebagai dasar dalam perencanaan mitigasi bencana.

Pada penelitian ini, GIS digunakan untuk mengintegrasikan hasil pembobotan dari metode AHP dengan data spasial sehingga menghasilkan peta sebaran risiko longsor pada infrastruktur jalan.

2.7.1 Komponen Geographic Information System (GIS)

Geographic Information System (GIS) merupakan suatu sistem yang terdiri atas beberapa komponen yang saling terintegrasi dalam proses pengumpulan, penyimpanan, pengelolaan, analisis, dan penyajian data spasial. Menurut Burrough dan McDonnell (1998)**,** keberhasilan penerapan GIS tidak hanya ditentukan oleh perangkat lunak yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh keterpaduan antara perangkat keras, data, metode, dan sumber daya manusia. Setiap komponen memiliki fungsi yang saling

mendukung sehingga menghasilkan informasi spasial yang akurat dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan.

Menurut Prahasta (2009)**,** secara umum GIS terdiri atas lima komponen utama, yaitu:

1. Perangkat Keras (*Hardware*)

   Perangkat keras merupakan sarana fisik yang digunakan untuk menjalankan sistem GIS, seperti komputer, perangkat penyimpanan data, *Global Positioning System* (GPS), scanner, printer, dan perangkat pendukung lainnya. Perangkat keras berfungsi untuk mengolah data spasial, menjalankan perangkat lunak GIS, serta menampilkan hasil analisis dalam bentuk peta maupun informasi digital.

2. Perangkat Lunak (*Software*)

   Perangkat lunak merupakan aplikasi yang digunakan untuk mengelola, menganalisis, dan menyajikan data spasial. Beberapa perangkat lunak GIS yang banyak digunakan antara lain ArcGIS**,** QGIS, dan MapInfo. Dalam penelitian ini, perangkat lunak yang digunakan adalah ArcGIS untuk melakukan pengolahan data spasial, pemberian skor, pembobotan, analisis *weighted overlay*, serta penyusunan peta risiko tanah longsor.

3. Data

   Data merupakan komponen utama dalam GIS yang terdiri atas data spasial dan data atribut. Data spasial menjelaskan posisi atau lokasi suatu objek di permukaan bumi melalui sistem koordinat, sedangkan data atribut memberikan informasi deskriptif mengenai karakteristik objek tersebut. Kedua jenis data tersebut saling melengkapi sehingga memungkinkan analisis spasial dilakukan secara lebih komprehensif.

4. Sumber Daya Manusia (*Brainware*)

   Sumber daya manusia merupakan pihak yang bertanggung jawab dalam mengoperasikan sistem GIS, mulai dari proses pengumpulan data, pengolahan, analisis, hingga interpretasi hasil. Kompetensi pengguna sangat menentukan kualitas informasi yang dihasilkan karena seluruh tahapan

analisis memerlukan pemahaman terhadap konsep spasial maupun perangkat lunak yang digunakan.

5. Metode

Metode merupakan prosedur atau tahapan kerja yang digunakan dalam pengolahan dan analisis data spasial. Pemilihan metode yang tepat akan menghasilkan informasi yang lebih akurat dan sesuai dengan tujuan penelitian. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah integrasi *Analytical Hierarchy Process* (AHP**)** dengan *Geographic Information System* (GIS) melalui analisis ***weighted overlay*** untuk menghasilkan peta risiko tanah longsor.

Berdasarkan kelima komponen tersebut, GIS tidak hanya berfungsi sebagai media penyimpanan data spasial, tetapi juga sebagai alat analisis yang mampu mengintegrasikan berbagai parameter dalam bentuk informasi keruangan. Integrasi antar komponen tersebut memungkinkan proses analisis risiko tanah longsor dilakukan secara sistematis sehingga menghasilkan peta risiko yang dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan prioritas penanganan.

2.7.2 Metode *Weighted Overlay*

Metode *Weighted Overlay* merupakan teknik dalam GIS yang digunakan untuk menggabungkan beberapa layer data dengan mempertimbangkan bobot masing-masing parameter. Metode ini sangat sesuai digunakan dalam analisis multikriteria seperti risiko longsor.

Dalam metode ini, setiap parameter diberikan:

1. Bobot (*weight*) = dari hasil AHP
2. Skor (*rating*) = berdasarkan klasifikasi tiap parameter

Rumus *Weighted Overlay*:

$$S = (Wi \times Xi) \quad \text{.....} \quad (2.20)$$

Keterangan:

S = nilai akhir (skor risiko)

Wi= bobot parameter ke-i (hasil AHP)

Xi = nilai/skor parameter ke-i

n = jumlah parameter

Rumus tersebut menunjukkan bahwa nilai risiko diperoleh dari hasil penjumlahan setiap parameter yang telah dikalikan dengan bobotnya. Parameter dengan bobot lebih besar akan memberikan pengaruh lebih signifikan terhadap hasil akhir.

2.7.3 Klasifikasi Tingkat Risiko Tanah Longsor

Hasil analisis *Weighted Overlay* berupa nilai indeks risiko yang masih berbentuk data numerik. Agar hasil analisis lebih mudah diinterpretasikan, nilai tersebut perlu dikelompokkan ke dalam beberapa kelas tingkat risiko. Menurut Burrough dan McDonnell (1998)**,** proses klasifikasi merupakan tahapan dalam analisis spasial yang bertujuan untuk mengelompokkan data berdasarkan karakteristik atau rentang nilai tertentu sehingga menghasilkan informasi yang lebih mudah dipahami dan dianalisis.

Dalam penelitian ini, klasifikasi tingkat risiko dilakukan dengan membagi nilai indeks risiko ke dalam tiga kelas, yaitu risiko rendah**,** risiko sedang, dan risiko tinggi. Pengelompokan tersebut mengacu pada Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (Perka BNPB) Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, yang mengelompokkan tingkat risiko ke dalam tiga kategori untuk memudahkan interpretasi hasil analisis serta penyusunan prioritas penanganan.

Penentuan batas setiap kelas dilakukan menggunakan metode Equal Interval, yaitu dengan membagi rentang nilai indeks risiko menjadi interval yang sama. Menurut ESRI (2024)**,** metode *Equal Interval* merupakan teknik klasifikasi yang membagi selisih antara nilai maksimum dan nilai minimum menjadi sejumlah kelas dengan lebar interval yang sama. Metode ini sesuai digunakan apabila tujuan analisis adalah memberikan pembagian kelas yang seragam sehingga memudahkan interpretasi hasil pemetaan.

Hasil perhitungan interval tersebut digunakan untuk menentukan batas masing-masing kelas risiko sehingga setiap lokasi penelitian dapat

diklasifikasikan ke dalam kategori risiko rendah, sedang, atau tinggi. Klasifikasi ini mempermudah proses interpretasi hasil analisis spasial dan menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi mitigasi serta penentuan zona prioritas penanganan.

Pada penelitian ini, hasil klasifikasi tingkat risiko disajikan dalam bentuk peta tematik yang menggambarkan distribusi spasial tingkat risiko tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara. Peta tersebut menjadi dasar dalam menentukan lokasi yang memerlukan penanganan dengan prioritas tinggi, sedang, maupun rendah sesuai dengan tingkat risikonya.

2.8 Integrasi Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Geographic Information System* (GIS)

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Geographic Information System* (GIS) merupakan dua metode yang saling melengkapi dalam analisis spasial berbasis pengambilan keputusan multikriteria (*Multi-Criteria Decision Analysis*). Menurut Malczewski (1999), integrasi antara metode *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) dan GIS memungkinkan proses penentuan keputusan tidak hanya mempertimbangkan tingkat kepentingan setiap parameter, tetapi juga mempertimbangkan distribusi spasial dari parameter tersebut. Integrasi ini menghasilkan analisis yang lebih objektif karena menggabungkan aspek kuantitatif melalui pembobotan dengan aspek keruangan melalui analisis spasial.

Dalam penelitian ini, metode AHP digunakan untuk menentukan bobot prioritas setiap parameter berdasarkan hasil penilaian responden ahli. Bobot tersebut menggambarkan tingkat kepentingan relatif masing-masing parameter terhadap risiko tanah longsor. Selanjutnya, bobot hasil AHP diintegrasikan dengan data spasial setiap parameter menggunakan metode *Weighted Overlay* pada perangkat lunak GIS. Proses integrasi ini menghasilkan nilai indeks risiko pada setiap lokasi penelitian berdasarkan kombinasi antara skor parameter dan bobot prioritas yang telah ditentukan.

Secara konseptual, integrasi metode AHP dan GIS dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu penentuan skor parameter**,** penentuan bobot parameter menggunakan AHP, dan analisis spasial menggunakan metode *Weighted Overlay*. Hasil integrasi ketiga tahapan tersebut berupa peta tingkat risiko tanah longsor yang menggambarkan distribusi spasial tingkat risiko pada lokasi penelitian. Hubungan antara metode AHP dan GIS dalam penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut.



*Sumber***.** *Diadaptasi dari Saaty (1980); Malczewski (1999); Burrough dan McDonnell (1998); ESRI (2024), diolah oleh penulis (2026).*

Gambar 2.2 Alur Integrasi Metode (AHP) dan (GIS) dalam Analisis Risiko Tanah Longsor

Berdasarkan gambar 2.2 penelitian ini diawali dengan penentuan parameter yang terdiri atas aspek bahaya**,** kerentanan, dan keterpaparan yang memengaruhi risiko tanah longsor. Masing-masing parameter terlebih dahulu dilakukan proses skoring berdasarkan klasifikasi yang telah ditetapkan sesuai dengan karakteristik setiap parameter. Proses skoring bertujuan untuk mengubah kondisi setiap parameter menjadi nilai numerik sehingga dapat dianalisis secara kuantitatif.

Tahap berikutnya adalah melakukan pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)**.** Pembobotan dilakukan melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) untuk memperoleh tingkat kepentingan relatif masing-masing parameter. Hasil pembobotan kemudian diuji konsistensinya menggunakan *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR) sehingga bobot yang digunakan telah memenuhi tingkat konsistensi sesuai dengan ketentuan metode AHP.

Bobot hasil AHP selanjutnya diintegrasikan dengan skor masing-masing parameter menggunakan analisis *Weighted Overlay* pada perangkat lunak Geographic Information System (GIS). Proses integrasi tersebut menghasilkan nilai indeks risiko tanah longsor pada setiap lokasi penelitian yang kemudian diklasifikasikan menjadi beberapa tingkat risiko, yaitu risiko rendah, sedang, dan tinggi**.**

Hasil klasifikasi divisualisasikan dalam bentuk peta tingkat risiko tanah longsor yang menggambarkan distribusi spasial risiko pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara. Peta tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan zona prioritas penanganan, sehingga dapat menjadi acuan bagi pemerintah daerah dalam menetapkan strategi mitigasi dan penanganan risiko tanah longsor secara lebih efektif.

Tabel 2.5 Adaptasi Kelas Risiko Menjadi Zona Prioritas Penanganan

Kelas Risiko	**Adaptasi Zona Prioritas**	**Tujuan Penanganan**
Tinggi	Prioritas I	Penanganan segera melalui tindakan mitigasi struktural dan nonstruktural

		untuk mengurangi potensi longsor serta menjaga fungsi pelayanan jalan.
Sedang	Prioritas II	Pengendalian risiko melalui pemeliharaan infrastruktur dan tindakan preventif agar tidak berkembang menjadi risiko tinggi.
Rendah	Prioritas III	Monitoring dan pemeliharaan rutin untuk mempertahankan kondisi eksisting.

Sumber. Diadaptasi dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, dan diolah oleh penulis (2026).

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan bagian penting dalam tinjauan pustaka yang digunakan untuk mengetahui perkembangan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya serta sebagai dasar dalam memperkuat penelitian yang dilakukan. Penelitian terdahulu yang telah di lakukan antara lain:

a. Salah satu penelitian yang relevan adalah penelitian berjudul *Landslide Susceptibility Mapping Using AHP and GIS Weighted Overlay Method: A Case Study from Ljig, Serbia*. Penelitian ini menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Geographic Information System* (GIS) untuk menghasilkan peta risiko longsor. Parameter yang digunakan meliputi sudut lereng, geologi, curah hujan, dan penggunaan lahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode AHP efektif dalam menentukan bobot parameter, sedangkan GIS mampu menghasilkan peta risiko longsor secara spasial. Namun, penelitian ini masih berfokus pada aspek bahaya (*hazard*) dan belum mengintegrasikan komponen risiko lainnya seperti kerentanan dan keterpaparan.

b. Metode AHP yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty (1980) telah banyak digunakan dalam analisis multikriteria, termasuk dalam kajian kebencanaan. Metode ini memungkinkan penentuan bobot parameter secara sistematis melalui matriks perbandingan berpasangan, sehingga hasil analisis menjadi lebih terstruktur dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Untuk memperjelas perbandingan penelitian terdahulu, disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 2.6 Daftar Literatur Penelitian Terdahulu

No	Nama Pengarang & Tahun	Judul Literatur	Metode	Hasil	Hubungan / keterkaitan
1	Jurnal Serbia (Ljig)	Landslide Susceptibility Mapping Using AHP and GIS Weighted Overlay Method	AHP & GIS	Menghasilkan peta risiko longsor dengan metode weighted overlay	Sangat relevan sebagai acuan metode, namun belum mengintegrasikan *vulnerability* dan *exposure*
2	Sitorus et al. (2019)	Analisis Risiko longsor Menggunakan AHP dan GIS	AHP & GIS	Menghasilkan peta risiko longsor di wilayah studi	Mendukung penggunaan AHP dan GIS di Indonesia, namun masih fokus pada *hazard*
3	Jurnal Road Network	Risk Analysis of Road Networks Under the Influence of Landslides	MCDM & GIS	Analisis risiko jaringan jalan	Sangat relevan (Jalan + H-V-E) belum AHP

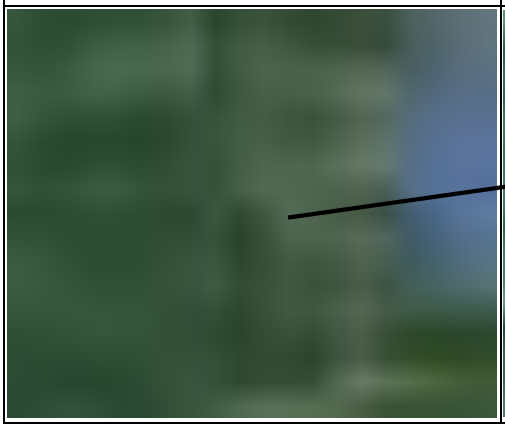
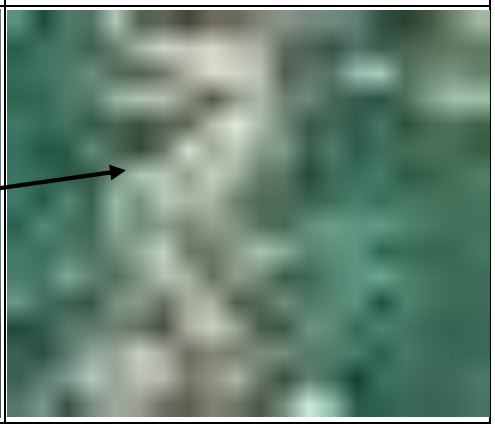
Sumber. Diolah dari Jurnal Serbia (Ljig); Sitorus et al. (2019); Jurnal Road Network

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara yang berada di kawasan Sungai Urang, Kelurahan Tanjung Palas Hilir, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara. Ruas jalan tersebut merupakan bagian dari jaringan jalan nasional yang berperan penting dalam mendukung mobilitas masyarakat serta distribusi barang dan jasa di Provinsi Kalimantan Utara.

Lokasi penelitian dipilih karena memiliki kondisi topografi berupa lereng perbukitan dan curah hujan yang relatif tinggi sehingga berpotensi mengalami tanah lerdongsor. Kondisi tersebut dapat mengganggu fungsi jalan dan aktivitas transportasi, sehingga perlu dilakukan analisis risiko longsor sebagai dasar dalam upaya mitigasi bencana dan pemeliharaan infrastruktur jalan.

Peta Kabupaten Bulungan	Peta Lokasi Penelitian
	

Sumber. Goggle Earth

Gambar 3.1 Lokasi Kejadian Tanah Longsor Jalan Poros Trans Kalimantan Utara

Secara geografis, lokasi penelitian terletak pada segmen dua di STA 08 + 604 koordinat 2°51'42.25"N Lintang Utara (LU) dan 117°17'16.17"E Bujur Timur (BT). Informasi koordinat ini digunakan sebagai acuan dalam

pengumpulan data lapangan serta pengolahan data spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk mendukung analisis risiko tanah longsor pada lokasi penelitian.

3.1.1 Pembagian Segmen Ruas Jalan Penelitian

Pembagian segmen jalan dilakukan untuk mempermudah proses identifikasi, pengumpulan data, dan analisis risiko tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang, Kecamatan Tanjung Palas. Oleh karena itu, setiap segmen dianggap sebagai satuan analisis yang memiliki karakteristik relatif homogen sehingga dapat dianalisis secara lebih rinci dan representatif.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga, evaluasi kondisi jalan dilakukan berdasarkan pembagian ruas menjadi segmen-segmen tertentu untuk memperoleh informasi kondisi jalan yang lebih detail dan memudahkan penentuan prioritas penanganan. Pendekatan segmentasi juga banyak digunakan dalam analisis risiko infrastruktur karena mampu menggambarkan variasi kondisi lapangan secara lebih akurat dibandingkan analisis pada satu ruas jalan secara keseluruhan.

Tabel 3.1 Pembagian Segmen Ruas Jalan Penelitian

Segmen	STA Awal	Koordinat STA Awal	STA Akhir	Koordinat STA Akhir	Panjang Segmen (m)
S1	STA 07 + 854	2°51'35" LU 117°17'24"BT	STA 08 + 054	2°51'36" LU 117°17'23"BT	200
S2	STA 08 + 054	2°51'36" LU 117°17'23"BT	STA 08 + 254	2°51'46" LU 117°17'16"BT	200
S3	STA 08 + 254	2°51'46" LU 117°17'16"BT	STA 08 + 454	2°51'51" LU 117°17'13"BT	200

Sumber. Hasil Pengolahan Peneliti, 2026

Ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara pada kawasan Sungai Urang yang menjadi lokasi penelitian memiliki panjang pengamatan sekitar 600

meter. Untuk mempermudah proses identifikasi dan analisis risiko longsor, ruas jalan tersebut dibagi menjadi tiga segmen pengamatan dengan panjang masing-masing 200 meter. Pembagian segmen dilakukan secara berurutan berdasarkan STA (Stationing) dari titik awal hingga titik akhir lokasi penelitian.



Sumber. Google Earth

Gambar 3.2 Peta Pembagian Segmen Jalan Poros Trans Kalimantan Utara

Setiap segmen digunakan sebagai unit analisis dalam pengumpulan data lapangan, penilaian parameter bahaya (hazard), kerentanan (vulnerability), dan keterpaparan (exposure), serta proses pembobotan menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Selanjutnya, hasil analisis setiap segmen diintegrasikan ke dalam Geographic Information System (GIS) untuk menghasilkan peta risiko longsor pada lokasi penelitian.

3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian

Jenis dan sumber data dalam penelitian ini disusun secara sistematis untuk mendukung analisis risiko bencana tanah longsor pada infrastruktur jalan. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif spasial, yang bertujuan untuk menganalisis tingkat risiko secara terukur serta menggambarkan distribusi risiko secara geografis. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengolah data dalam bentuk numerik, sedangkan pendekatan deskriptif spasial digunakan untuk memvisualisasikan hasil analisis dalam bentuk peta.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder yang saling melengkapi dalam mendukung analisis variabel bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), dan keterpaparan (*exposure*).

Data primer diperoleh secara langsung melalui observasi lapangan dan wawancara, sedangkan data sekunder diperoleh dari berbagai instansi terkait serta literature pendukung. Seluruh data tersebut selanjutnya diolah melalui proses klasifikasi, pemberian skor, pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) sehingga dapat dianalisis secara kuantitatif.

Sumber data berasal dari observasi lapangan serta instansi terkait seperti Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah, serta didukung oleh literatur dan regulasi seperti Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012.

3.2.1 Jenis dan Sumber Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari sumber utama di lokasi penelitian. Menurut Sugiyono (2017), data primer adalah data yang dikumpulkan langsung oleh peneliti dari sumber pertama melalui teknik seperti observasi, wawancara, dan dokumentasi. Hal ini sejalan dengan pendapat Suharsimi Arikunto (2013) yang menyatakan bahwa data primer diperoleh secara langsung dari objek penelitian tanpa melalui perantara.

Pengumpulan data dilakukan melalui:

a. Observasi lapangan

Merupakan salah satu teknik pengumpulan data primer yang dilakukan melalui observasi secara langsung terhadap objek penelitian di lokasi penelitian.

Teknik ini digunakan untuk memperoleh gambaran faktual mengenai kondisi wilayah penelitian yang ada sehingga data yang diperoleh sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

Dalam penelitian ini, pelaksanaan observasi lapangan terfokus pada identifikasi kondisi fisik wilayah penelitian yang berkaitan dengan potensi risiko longsor pada infrastruktur jalan. Aspek yang diamati meliputi:

1. kemiringan lereng sebagai indikator kondisi topografi
2. Kondisi perkerasan jalan untuk mengetahui tingkat kerusakan atau pembekuan
3. Sistem drainase untuk menilai aliran udara permukaan
4. Kondisi geologi dan penutupan lahan di sekitar lokasi penelitian.

Selain itu, observasi juga mencakup identifikasi indikasi kerusakan dan tanda-tanda terjadinya longsor seperti retakan tanah, amblesan, maupun bekas longsoran sebelumnya.

Data hasil observasi dicatat secara sistematis dalam lembar observasi serta didokumentasikan dalam bentuk foto lapangan sebagai bukti kondisi aktual di lokasi penelitian. Seluruh data yang diperoleh kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis lebih lanjut serta divalidasi dengan data sekunder dan hasil wawancara guna meningkatkan keabsahan data penelitian.

b. Wawancara kepada pihak terkait

Merupakan salah satu teknik pengumpulan data primer yang dilakukan melalui proses Tanya jawab secara langsung dengan informan yang dianggap memiliki pengetahuan, pengalaman, dan kompetensi yang relevan dengan objek penelitian, sehingga dapat memberikan informasi yang dibutuhkan dalam mendukung proses analisis penelitian.

Pelaksanaan wawancara dalam penelitian ini dilakukan secara terstruktur dengan menggunakan instrumen kuesioner *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dalam bentuk perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Kuesioner disusun berdasarkan kriteria dan subkriteria penelitian yang telah ditetapkan, kemudian diajukan kepada responden yang telah dipilih secara *purposive sampling*. Responden diminta memberikan penilaian tingkat kepentingan relatif antar variabel menggunakan skala penilaian Saaty. Dengan demikian, proses wawancara dilakukan secara sistematis, terukur, dan sesuai dengan prosedur metode AHP.

Hasil wawancara digunakan sebagai data utama dalam proses analisis AHP, khususnya dalam penentuan bobot prioritas setiap kriteria, serta sebagai dasar dalam penyusunan tingkat kepentingan antar variabel penelitian.

c. Dokumentasi

Dokumentasi merupakan salah satu teknik pengumpulan data primer yang dilakukan dengan cara mengumpulkan, mencatat, dan menyimpan bukti-bukti visual maupun tertulis yang diperoleh langsung dari lokasi penelitian. Menurut Sugiyono (2017), dokumentasi digunakan untuk mendukung data hasil observasi dan wawancara sehingga dapat memperkuat keabsahan data penelitian melalui bukti yang bersifat nyata dan dapat diverifikasi.

Dalam penelitian ini, dokumentasi difokuskan pada pengambilan data visual berupa foto kondisi eksisting di lokasi penelitian yang mencakup kondisi kemiringan lereng, kondisi perkerasan jalan, sistem drainase, serta indikasi kerusakan dan tanda-tanda longsor. Selain itu, dokumentasi juga mencakup pencatatan lapangan, sketsa sederhana, serta data pendukung lainnya yang diperoleh secara langsung di lokasi penelitian.

Pengambilan dokumentasi dilakukan pada titik-titik yang mewakili kondisi penting dan relevan dengan variabel penelitian, sehingga dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi aktual di lapangan. Hasil dokumentasi kemudian digunakan sebagai bukti empiris untuk mendukung hasil observasi dan wawancara, serta sebagai bagian dari proses triangulasi data guna meningkatkan validitas dan keabsahan data penelitian.

Dengan demikian, teknik dokumentasi dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai pelengkap data, tetapi juga sebagai salah satu sumber data penting yang mendukung proses analisis, khususnya dalam penilaian kondisi eksisting wilayah penelitian.

d. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teoritis yang mendukung pelaksanaan penelitian. Literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah nasional maupun internasional, standar teknis, serta peraturan

perundang-undangan yang berkaitan dengan analisis risiko tanah longsor, metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), *Geographic Information System* (GIS), serta parameter bahaya, kerentanan, dan keterpaparan.

3.2.2 Jenis dan Sumber Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung dari sumber yang telah tersedia. Menurut Sugiyono (2017), data sekunder adalah data yang diperoleh melalui dokumen, laporan, atau publikasi dari pihak lain yang relevan dengan penelitian. Hal ini juga didukung oleh Moh. Nazir (2014) yang menyatakan bahwa data sekunder berasal dari sumber tertulis seperti buku, arsip, laporan, dan dokumen resmi yang dapat digunakan sebagai pendukung penelitian.

Pengumpulan data sekunder dalam penelitian ini dilakukan melalui studi dokumentasi (document review) dengan cara mengidentifikasi, menyeleksi, dan mengklasifikasikan data yang sesuai dengan variabel penelitian. Proses ini dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa data yang digunakan relevan, valid, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Dalam penelitian ini, data sekunder diperoleh dari berbagai instansi terkait, seperti:

a. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), untuk memperoleh data curah hujan dan kondisi iklim yang berpengaruh terhadap potensi terjadinya longsor.
b. Badan Penanggulangan Bencana Daerah, untuk memperoleh data historis kejadian longsor di wilayah penelitian sebagai dasar analisis tingkat kerawanan.
c. Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, untuk memperoleh data kondisi jaringan jalan, infrastruktur, serta informasi teknis lainnya yang berkaitan dengan objek penelitian.

d. Literatur ilmiah, berupa buku, jurnal ilmiah, dan artikel penelitian yang relevan sebagai dasar teori dan referensi dalam mendukung analisis penelitian.
e. Hasil penelitian terdahulu, yang diperoleh dari repositori perguruan tinggi maupun publikasi ilmiah sebagai bahan perbandingan dan penguatan metodologi penelitian.
f. Serta dokumen kebijakan seperti Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, yang digunakan sebagai acuan dalam penyusunan parameter dan metode analisis risiko dalam penelitian ini.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan faktor-faktor yang digunakan sebagai dasar dalam menganalisis tingkat risiko tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara, Desa Sungai Urang, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan. Penentuan variabel penelitian mengacu pada konsep pengkajian risiko bencana yang menyatakan bahwa tingkat risiko dipengaruhi oleh tiga komponen utama, yaitu bahaya (***hazard*),** kerentanan (***vulnerability***), dan keterpaparan (***exposure***). Ketiga komponen tersebut dipilih karena mampu menggambarkan kondisi lingkungan, karakteristik infrastruktur jalan, serta potensi dampak yang ditimbulkan apabila terjadi bencana tanah longsor.

Masing-masing komponen terdiri atas beberapa parameter yang diperoleh melalui data primer maupun data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan, pengukuran langsung, observasi, dan penyebaran kuesioner kepada responden ahli. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari berbagai instansi terkait, seperti Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Badan Informasi Geospasial (BIG), Badan Pusat Statistik (BPS), Badan Geologi, serta instansi lain yang menyediakan data pendukung penelitian.

Seluruh parameter pen elitian selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, kemudian diberikan skor sesuai tingkat pengaruhnya terhadap risiko tanah longsor. Setelah proses skoring selesai, masing-masing parameter diberikan bobot menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) berdasarkan hasil penilaian responden ahli. Bobot tersebut kemudian diintegrasikan dengan data spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS) melalui analisis *Weighted Overlay* untuk menghasilkan peta tingkat risiko tanah longsor serta zona prioritas penanganan pada lokasi penelitian.

Tabel 3.2 Variabel Penelitian

Variabel	Parameter	Sumber Data	Jenis Data
Bahaya (Hazard)	**Kemiringan Lereng**	DEMNAS/BIG	Sekunder
	Jenis Tanah	Web. Geospasial Indonesia	Sekunder
	Geologi	Badan Geologi, dan web ESDM	Sekunder
	Curah Hujan	CHIRPS dan BMKG	Sekunder
	Tutupan Lahan	Website Geospasial Indonesia	Sekunder
	Elevasi	DEMNAS/ BIG	Sekunder
Kerentanan (Vulnerability)	**Kondisi Fisik Jalan**	Observasi Lapangan	Primer
	Geometri Jalan	Pengukuran Lapangan	Primer
	Kepadatan Bangunan	Observasi & Interpretasi Citra	Primer & Sekunder
Keterpaparan (Exposure)	**Vol. LHR**	Survei Lalu Lintas	Primer
	Kepadatan Penduduk	Observasi Lapangan	Primer
	Aktivitas Sosial Ekonomi	Observasi Lapangan	Primer

3.3.1 Variabel Bahaya (*Hazard*)

Dalam konteks tanah longsor, bahaya dipengaruhi oleh faktor pengontrol dan faktor pemicu yang berkaitan dengan kondisi fisik lingkungan. Penentuan variabel bahaya dalam penelitian ini mengacu pada SNI 8291:2016, pedoman Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), serta literatur seperti Varnes (1984) dan Van Westen dkk. (2008).

Tabel 3.3 Dasar Penentuan Variabel Bahaya

NO	Variabel	Dasar penentuan/acuan	Justifikasi relevansi dengan lokasi
1	Kemiringan Lereng	SNI8291:2016; Pedoman PVMBG; Varnes (1984); Van Westen dkk. (2008)	Topografi Sungai Urang di dominasi lereng curam yang berbatasan langsung dengan badan jalan, menjadi factor pengontrol utama longsor.
2	Jenis Tanah	Peta Tanah Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian; SNI 8291:2016	Kalimantan Utara memiliki tanah residual dan aluvial yang mudah tererosi serta jenuh air saat musim hujan.
3	Jenis Batuan/Geologi	Peta Geologi Lembar Tanjung Selor (Badan Geologi); Pedoman PVMBG	Formasi batuan sedimen lunak di wilayah Bulungan berpotensi melemah akibat pelapukan dan infiltrasi air hujan.
4	Curah Hujan	Data BMKG 10 tahun terakhir; Perka BNPB No. 2/2012; Paimin dkk. (2009)	Curah hujan tinggi menjadi pemicu utama kejadian longsor 8 Maret 2026 dan longsor susulan di Sungai Urang.
5	Tutupan lahan	Peta Penutupan Lahan KLHK; citra satelit; Perka BNPB No. 2/2012	Perubahan tutupan hutan menjadi lahan terbuka di sepanjang koridor jalan meningkatkan potensi longsor.

NO	Variabel	Dasar penentuan/acuan	Justifikasi relevansi dengan lokasi
6	Elevasi/Ketinggian	DEMNAS Badan Informasi Geospasial (BIG); Van Westen dkk. (2008)	Variasi elevasi pada ruas jalan berpengaruh terhadap energi potensial dan pola aliran air permukaan.

3.3.2 Variabel Kerentanan (*Vulnerability*)

Secara metodologis, kerentanan dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif melalui metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan bobot kepentingan masing-masing variabel berdasarkan penilaian ahli. Selanjutnya, hasil pembobotan tersebut diintegrasikan ke dalam analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS) melalui teknik *overlay* untuk menghasilkan peta kerentanan yang menggambarkan tingkat kerentanan infrastruktur jalan terhadap bencana tanah longsor.

Tabel 3.4 Dasar Penentuan Variabel Kerentanan (*Vulnerability*)

NO	Variabel	Dasar penentuan/acuan	Justifikasi relevansi dengan lokasi
1	Kondisi Fisik Jalan	Permen PUPR No. 13/PRT/M/2011 tentang Pemeliharaan Jalan; SNI 03-3424-1994; Manual Survei Kondisi Jalan Bina Marga	Jenis perkerasan, sistem drainase, dan keberadaan dinding penahan tanah menentukan ketahanan ruas jalan terhadap beban longsor
2	Geometri Jalan	Pedoman Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/TBM/1997 Bina Marga; AASHTO (2011)	Lebar jalan, bahu jalan

NO	Variabel	Dasar penentuan/acuan	Justifikasi relevansi dengan lokasi
3	Kepadatan Bangunan di Sekitar Jalan	Perka BNPB No. 2/2012 (kerentanan fisik); data BPS Kabupaten Bulungan	Semakin padat bangunan di sekitar ruas jalan, semakin tinggi potensi kerugian fisik akibat longsor.

3.3.3 Variabel Keterpaparan (*exposure*)

Dalam penelitian ini, keterpaparan difokuskan pada intensitas penggunaan jalan dan aktivitas di sekitarnya. Penentuan variabel keterpaparan mengacu pada MKJI 1997, Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012, serta kerangka UNISDR.

Tabel 3.5 Dasar penentuan Variabel Keterpaparan (*Exposure*)

No	Variabel	Dasar Penentuan/Acuan	Justifikasi Relevansi dengan Lokasi
1	Volume Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)	Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997; data Dinas PUPR Kabupaten Bulungan	LHR menggambarkan intensitas pengguna jalan yang terpapar risiko jika terjadi longsor pada ruas Trans Kalimantan Utara.
2	Kepadatan Penduduk di Sekitar Ruas Jalan	Perka BNPB No. 2/2012 (kerentanan sosial / keterpaparan); data BPS Kabupaten Bulungan	Permukiman di sepanjang koridor jalan Sungai Urang merupakan elemen berisiko yang terpapar langsung jika terjadi longsor.
3	Aktivitas Sosial-Ekonomi yang	Perka BNPB No. 2/2012 (kerentanan ekonomi);	Ruas jalan berfungsi sebagai jalur distribusi barang dan jasa

	Berpotensi Terdampak	UNISDR (2015) – Sendai Framework; data BPS	antarwilayah Kalimantan Utara sehingga terputusnya jalan berdampak pada perekonomian lokal.

Parameter tersebut dipilih karena mencerminkan tingkat keterpaparan pengguna jalan dan masyarakat terhadap risiko longsor di lokasi penelitian. Dengan pendekatan tersebut, variabel yang digunakan tidak hanya memiliki dasar teoritis yang kuat, tetapi juga relevan dengan kondisi aktual di lokasi penelitian, sehingga mampu mendukung analisis risiko yang komprehensif dan aplikatif.

3.4 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dan pendekatan analisis spasial dengan metode *Geographic Information System* (GIS) untuk menganalisis risiko tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di Desa Sungai Urang, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini mengolah data numerik melalui proses skoring, pembobotan, dan analisis spasial sehingga menghasilkan informasi yang dapat diukur dan diinterpretasikan secara objektif.

3.4.1 Pendekatan Kuantitatif

Pendekatan kuantitatif dalam penelitian ini digunakan untuk mengolah data dalam bentuk numerik sehingga setiap variabel dapat dianalisis secara objektif dan terukur. Metode yang digunakan adalah *Analytic Hierarchy Process* (AHP), yaitu metode pengambilan keputusan yang dikembangkan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif antar variabel melalui proses perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*).

Dalam penelitian ini, metode AHP digunakan untuk menentukan bobot dari tiga variabel utama, yaitu bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), dan keterpaparan (*exposure*). Proses AHP diawali dengan penyusunan struktur hierarki, dilanjutkan dengan pengisian kuesioner oleh responden yang berasal dari instansi terkait dan tenaga ahli. Hasil penilaian tersebut kemudian diolah untuk memperoleh bobot masing-masing variabel serta diuji tingkat konsistensinya guna memastikan keandalan hasil.

Bobot yang diperoleh dari metode AHP selanjutnya digunakan dalam perhitungan indeks risiko bencana tanah longsor, sehingga menghasilkan nilai risiko yang bersifat kuantitatif dan dapat dibandingkan antar lokasi penelitian.

3.4.2 Pendekatan Spasial

Pendekatan spasial dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisis dan memvisualisasikan sebaran risiko bencana tanah longsor secara geografis. Pendekatan ini memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (*Geographic Information System*), yaitu sistem berbasis komputer yang mampu mengelola, menganalisis, dan menyajikan data yang memiliki referensi keruangan.

Dalam penelitian ini, data hasil analisis kuantitatif yang telah diperoleh dari metode AHP diintegrasikan ke dalam GIS untuk menghasilkan peta tematik. Setiap variabel, yaitu bahaya, kerentanan, dan keterpaparan, dipetakan dalam bentuk layer spasial, kemudian dilakukan analisis *overlay* (tumpang susun) untuk memperoleh peta tingkat risiko bencana tanah longsor.

Hasil analisis spasial ini berupa peta zonasi risiko yang menunjukkan tingkat risiko pada setiap lokasi penelitian. Peta tersebut memberikan gambaran visual mengenai distribusi risiko sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan dan penyusunan strategi mitigasi bencana yang lebih efektif dan berbasis wilayah.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan tahapan yang dilakukan untuk memperoleh data yang diperlukan dalam penelitian. Data yang dikumpulkan terdiri atas data primer dan data sekunder yang digunakan sebagai dasar dalam analisis risiko tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara. Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa teknik, yaitu observasi lapangan, dokumentasi, studi literatur, dan penyebaran kuesioner kepada responden ahli. Masing-masing teknik pengumpulan data dijelaskan sebagai berikut

1. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk memperoleh data primer secara langsung pada lokasi penelitian. Kegiatan observasi bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi eksisting ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara serta mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan parameter penelitian. Pengamatan dilakukan terhadap kondisi fisik jalan, geometri jalan, kondisi drainase, kondisi perkerasan, penggunaan lahan di sekitar lokasi penelitian, serta aktivitas sosial ekonomi yang terdapat di sepanjang ruas jalan.

Selain pengamatan visual, observasi lapangan juga digunakan untuk melakukan pengukuran terhadap beberapa parameter yang memerlukan data aktual di lapangan, seperti lebar perkerasan, lebar bahu jalan, kondisi saluran drainase, serta inventarisasi kerusakan perkerasan. Hasil observasi dicatat pada lembar survei dan didokumentasikan sebagai data pendukung dalam proses analisis.

2. Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan sebagai pelengkap data hasil observasi lapangan. Dokumentasi berupa foto kondisi eksisting lokasi penelitian, kondisi jalan, saluran drainase, penggunaan lahan, serta kondisi lingkungan sekitar yang berkaitan dengan parameter penelitian.

Dokumentasi digunakan untuk memperkuat hasil observasi sekaligus menjadi bukti pelaksanaan survei lapangan dan sumber informasi dalam proses analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS).

3. Wawancara

Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi pendukung serta data penilaian dalam proses pembobotan variabel penelitian. Dalam penelitian ini, wawancara menggunakan instrumen berupa Kuesioner *Analytic Hierarchy Process* (AHP) yang diberikan kepada responden dari instansi terkait dan tenaga ahli.

Kuesioner AHP digunakan untuk membandingkan tingkat kepentingan antar variabel, yaitu bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), dan keterpaparan (*exposure*), sehingga diperoleh bobot masing-masing variabel secara objektif. Data hasil wawancara ini selanjutnya digunakan dalam perhitungan indeks risiko pada lokasi penelitian.

4. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teoritis yang mendukung pelaksanaan penelitian. Literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah nasional maupun internasional, standar teknis, serta peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan analisis risiko tanah longsor, metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), *Geographic Information System* (GIS), serta parameter bahaya, kerentanan, dan keterpaparan.

5. Penyebaran Kuesioner *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Setelah instrumen kuesioner disusun, tahap selanjutnya adalah penyebaran kuesioner kepada responden yang telah ditentukan. Penyebaran kuesioner bertujuan untuk memperoleh penilaian mengenai tingkat kepentingan relatif antarparameter yang digunakan dalam analisis risiko tanah longsor. Penilaian tersebut menjadi dasar dalam proses pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Pemilihan responden dilakukan menggunakan teknik purposive sampling, yaitu teknik penentuan responden berdasarkan pertimbangan tertentu sesuai dengan tujuan penelitian. Teknik ini dipilih karena metode AHP memerlukan penilaian yang berasal dari responden yang memiliki kompetensi, pengalaman, dan pemahaman terhadap parameter yang dibandingkan. Oleh karena itu, responden dalam penelitian ini dipilih dari

instansi dan akademisi yang memiliki keahlian di bidang kebencanaan, geoteknik, transportasi, infrastruktur jalan, dan sistem informasi geografis.

Tabel 3.6 Kriteria Identitas Responden Penelitian

No	Insial Responden	Instansi	Jabatan
1	R1	Badan Penanggulangan Bencana Daerah	Kepala Seksi Kedaruratan dan Logistik
2	R2	Dinas Pekerjaan Umum (PUPR)	Penelaah Teknis Kebijakan
3	R3	Bappeda	Analisis Perencanaan Wilayah
5	R4	Dinas Lingkungan Hidup	Analisis Lingkungan
6	R5	Universitas	Dosen Geoteknik/Geografi

Sumber. Data Primer Penelitian (2026)

Penelitian ini melibatkan lima responden ahli yang memberikan penilaian secara independen terhadap seluruh pasangan parameter yang terdapat dalam instrumen kuesioner. Sebelum melakukan penilaian, setiap responden diberikan penjelasan mengenai tujuan penelitian, definisi operasional setiap parameter, serta tata cara pengisian kuesioner agar seluruh responden memiliki pemahaman yang sama terhadap parameter yang dibandingkan.

Pengisian kuesioner dilakukan dengan memberikan nilai tingkat kepentingan pada setiap pasangan parameter sesuai dengan skala perbandingan yang telah disusun. Hasil penilaian dari masing-masing responden kemudian direkapitulasi dan digunakan sebagai data masukan dalam proses pembentukan matriks perbandingan berpasangan. Selanjutnya,

matriks tersebut diolah melalui tahapan metode AHP untuk memperoleh bobot prioritas setiap parameter yang digunakan dalam analisis risiko tanah longsor.

3.6 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data merupakan tahapan yang dilakukan untuk mengolah seluruh data yang telah diperoleh dari hasil observasi lapangan, penyebaran kuesioner, serta data sekunder dari berbagai instansi terkait. Analisis data pada penelitian ini dilakukan secara bertahap untuk memperoleh tingkat risiko tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara melalui integrasi metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Geographic Information System* (GIS)**.**

Analisis dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap melalui proses klasifikasi dan skoring parameter, pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS), serta penentuan tingkat risiko dan zona prioritas penanganan. Uraian masing-masing tahapan dijelaskan pada subbab berikut.

3.6.1 Klasifikasi dan Skoring Parameter Penelitian

Klasifikasi dilakukan dengan mengelompokkan setiap parameter ke dalam kelas-kelas tertentu berdasarkan kriteria dan referensi yang telah ditetapkan pada Bab II. Selanjutnya, setiap kelas diberikan skor sesuai dengan tingkat pengaruhnya terhadap risiko tanah longsor sehingga seluruh parameter memiliki skala penilaian yang seragam.

Proses klasifikasi dan skoring dilakukan terhadap tiga komponen utama penelitian, yaitu bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), dan keterpaparan (*exposure*)**.** Setiap parameter diklasifikasikan berdasarkan karakteristik datanya masing-masing, kemudian diberikan skor sesuai dengan tingkat kontribusinya terhadap risiko tanah longsor.

Hasil klasifikasi dan skoring setiap parameter selanjutnya digunakan sebagai data masukan dalam proses pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS). Adapun klasifikasi dan skoring yang digunakan pada masing-masing parameter dijelaskan sebagai berikut.

3.6.2 Klasifikasi dan Skoring Variabel Bahaya

Parameter bahaya merupakan faktor-faktor yang berpotensi memicu terjadinya tanah longsor pada lokasi penelitian. Pada penelitian ini, parameter bahaya terdiri atas enam parameter, yaitu jenis tanah, tutupan lahan, curah hujan, kemiringan lereng, geologi, dan elevasi. Setiap parameter diklasifikasikan berdasarkan referensi yang digunakan, kemudian diberikan skor sesuai tingkat pengaruhnya terhadap risiko tanah longsor. Klasifikasi dan skoring masing-masing parameter disajikan pada tabel berikut

Seluruh parameter dianalisis menggunakan perangkat lunak ArcGIS Pro melalui tahapan *clip*, klasifikasi (*reclassify*), pemberian skor, dan *overlay* dengan ruas jalan penelitian. Nilai skor setiap parameter selanjutnya digunakan dalam proses pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk memperoleh nilai bahaya pada masing-masing segmen jalan.

1. Parameter Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan salah satu parameter yang paling berpengaruh terhadap potensi terjadinya tanah longsor karena menentukan besarnya gaya pendorong pada massa tanah. Semakin besar kemiringan lereng, maka kestabilan lereng cenderung menurun sehingga potensi longsor semakin tinggi.

Nilai kemiringan lereng diperoleh dari hasil pengolahan data DEM menggunakan *tool Slope* pada ArcGIS Pro. Hasil pengolahan kemudian diklasifikasikan berdasarkan persentase kemiringan lereng dan diberikan skor sesuai tingkat pengaruhnya terhadap potensi bahaya tanah longsor.

Tabel 3.7 Klasifikasi dan Skoring Parameter Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng	Skor
0–2 %	**1**
2–15 %	**2**
15–25 %	**3**
25–40 %	**4**
> 40%	**5**

Sumber. Diadaptasi dari Permen PU No.22 tahun 2007

Dasar Klasifikasi: Diolah penulis mengacu pada klasifikasi kemiringan lereng Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2012), dan penelitian terdahulu mengenai risiko longsor.

2. Parameter Jenis Tanah

Parameter jenis tanah digunakan untuk mengetahui karakteristik tanah yang memengaruhi kestabilan lereng. Data diperoleh dari *FAO Digital Soil Map*, kemudian dioverlay dengan ruas jalan penelitian untuk mengidentifikasi jenis tanah pada setiap segmen. Selanjutnya dilakukan pemberian skor berdasarkan tingkat kerentanan masing-masing jenis tanah terhadap tanah longsor.

Tabel 3.8 Klasifikasi dan Skoring Parameter Jenis Tanah

Jenis Tanah	Karakteristik Umum	Kelas	Skor
Aluvial	Tanah dataran rendah dengan tekstur relatif stabil	Sangat Rendah	1
Grumosol	Tanah bertekstur liat dengan tingkat erosi rendah	Rendah	2
Latosol	Tanah hasil pelapukan batuan vulkanik, cukup peka terhadap erosi	Sedang	3
Mediteran	Tanah berkembang pada batuan kapur dan batuan sedimen, cukup rentan longsor	Tinggi	4

Andosol	Tanah hasil pelapukan material vulkanik, berpori tinggi dan mudah jenuh air	Sangat Tinggi	5

Sumber. Diadaptasi dari Hardjowigeno (2015), BBSDLP

3. Parameter Geologi

Parameter geologi digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik batuan penyusun yang memengaruhi kestabilan lereng. Data diperoleh dari Peta Geologi Regional Badan Geologi**,** kemudian dilakukan *clip* dan *overlay* dengan ruas jalan penelitian. Satuan geologi selanjutnya diklasifikasikan dan diberikan skor sesuai tingkat pengaruhnya terhadap potensi tanah longsor.

Tabel 3.9 Klasifikasi dan Skoring Parameter Geologi

Formasi Geologi	Kelas	Skor
Formasi sangat stabil	Sangat Rendah	1
Formasi stabil	Rendah	2
Formasi cukup rentan	Sedang	3
Formasi rentan	Tinggi	4
Formasi Sangat Rentan	Sangat Tinggi	5

Sumber. Diadaptasi dari Badan Geologi dan BNPB (2012)

4. Curah Hujan

Curah hujan merupakan salah satu faktor pemicu utama tanah longsor karena dapat meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, menaikkan tekanan air pori, serta menurunkan kuat geser tanah. Data curah hujan diperoleh dari Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS)**,** kemudian dilakukan proses ***clip***, klasifikasi, dan pemberian skor sesuai interval curah hujan yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3.10 Klasifikasi dan Skoring Parameter Curah Hujan

Curah Hujan	Skor
Sangat Rendah	**1**
Rendah	**2**
Sedang	**3**
Tinggi	**4**

Sangat Tinggi	**5**

Sumber. CHIRPS dan Data BMKG

5. Analisis Parameter Tutupan Lahan

Parameter tutupan lahan diklasifikasikan berdasarkan data penggunaan lahan pada lokasi penelitian yang diperoleh dari peta tutupan lahan dan hasil interpretasi data spasial. Tahap klasifikasi dilakukan dengan mengidentifikasi jenis tutupan lahan yang terdapat pada setiap segmen penelitian, kemudian mengelompokkannya ke dalam kelas-kelas sesuai dengan klasifikasi yang telah ditetapkan pada Bab II.

Setelah proses klasifikasi selesai, setiap jenis tutupan lahan diberikan skor berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap potensi terjadinya tanah longsor. Pemberian skor dilakukan dengan mempertimbangkan kemampuan tutupan lahan dalam menjaga kestabilan lereng. Tutupan lahan yang memiliki vegetasi rapat dan sistem perakaran yang baik diberikan skor lebih rendah karena berperan dalam meningkatkan stabilitas tanah dan mengurangi erosi. Sebaliknya, tutupan lahan dengan vegetasi yang jarang, lahan terbuka, atau kawasan terbangun diberikan skor lebih tinggi karena memiliki kemampuan yang lebih rendah dalam menahan aliran permukaan dan menjaga kestabilan lereng.

Tabel 3.11 Klasifikasi dan Skoring Parameter Tutupan Lahan

Curah Hujan	**Skor**
Hutan	**1**
Semak Belukar	**2**
Perkebunan	**3**
Pertanian Lahan Kering Campur	**4**
Permukaan/lahan terbuka	**5**

Sumber. Diadaptasi dari Hardjowigeno (2015), BBSDLP

6. Analisis Parameter Elevasi

Parameter elevasi digunakan untuk menggambarkan ketinggian suatu wilayah terhadap permukaan laut yang dapat memengaruhi karakteristik topografi dan perkembangan morfologi lereng. Data elevasi diperoleh dari

Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG)**.** Pengolahan data dilakukan dengan memotong (*clip*) data sesuai batas wilayah penelitian menggunakan ArcGIS Pro, kemudian dilakukan klasifikasi berdasarkan interval elevasi yang digunakan dalam penelitian.

Klasifikasi elevasi dilakukan sebagai dasar pemberian skor untuk menggambarkan tingkat pengaruh elevasi terhadap potensi bahaya tanah longsor. Semakin tinggi kelas elevasi, maka semakin besar nilai skor yang diberikan sesuai dengan klasifikasi penelitian.

Tabel 3.12 Klasifikasi dan Skoring Parameter Elevasi

Kelas Elevasi	Skor
0–50 m	**1**
50–100 m	**2**
>100 m	**3**

Sumber. DEMNAS, Badan Informasi Geospasial (BIG)

3.6.3 Klasifikasi dan Skroing Variabel Kerentanan

Parameter kerentanan merupakan komponen yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kerentanan infrastruktur jalan terhadap dampak yang ditimbulkan akibat bencana tanah longsor. Pada penelitian ini, parameter kerentanan terdiri atas kondisi fisik jalan, geometri jalan, dan kepadatan bangunan. Setiap parameter diklasifikasikan berdasarkan hasil survei lapangan dan data pendukung lainnya sesuai dengan kriteria yang telah dijelaskan pada Bab II.

Tahap klasifikasi dilakukan dengan mengelompokkan kondisi setiap parameter ke dalam kelas-kelas tertentu berdasarkan indikator penilaian yang telah ditetapkan. Selanjutnya, masing-masing kelas diberikan skor sesuai dengan tingkat kerentanannya terhadap risiko tanah longsor. Semakin tinggi tingkat kerentanan suatu kondisi, maka semakin besar skor yang diberikan. Sebaliknya, kondisi yang memiliki tingkat kerentanan lebih rendah diberikan skor yang lebih kecil.

Hasil klasifikasi dan skoring parameter kerentanan selanjutnya digunakan sebagai data masukan dalam proses pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS). Adapun klasifikasi dan skoring masing-masing parameter kerentanan dijelaskan sebagai berikut.

1. Parameter Kondisi Fisik Jalan

Parameter kondisi fisik jalan diklasifikasikan berdasarkan hasil survei lapangan terhadap kondisi perkerasan jalan dan drainase pada setiap segmen penelitian. Kedua indikator tersebut dinilai sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan pada Bab II, kemudian digabungkan untuk memperoleh nilai kondisi fisik jalan pada masing-masing segmen.

Setelah proses klasifikasi dilakukan, masing-masing indikator diberikan skor sesuai dengan tingkat pengaruhnya terhadap kerentanan jalan terhadap bencana tanah longsor. Nilai skor dari kedua indikator tersebut selanjutnya dihitung untuk memperoleh nilai rata-rata kondisi fisik jalan pada setiap segmen penelitian.

Tabel 3.13 Klasifikasi dan Skoring kondisi Perkerasan Jalan

Kondisi Perkerasan	Kriteria	Klasifikasi	Skor
Baik	Perkerasan masih berfungsi dengan baik dan kerusakan tidak mempengaruhi pelayanan jalan	Rendah	1
Sedang	Terdapat kerusakan ringan hingga sedang yang mulai mempengaruhi kenyamanan berkendara	Sedang	2
Rusak	Kerusakan berat yang mengganggu fungsi pelayanan jalan	Tinggi	3

Sumber: Diadaptasi dari Direktorat Jenderal Bina Marga

Tabel 3.14 Klasifikasi Kondisi Drainase

Kondisi Perkerasan	Kriteria	Klasifikasi	Skor
Baik	Perkerasan masih berfungsi dengan baik dan kerusakan tidak mempengaruhi pelayanan jalan	Rendah	1
Sedang	Terdapat kerusakan ringan hingga sedang yang mulai mempengaruhi kenyamanan berkendara	Sedang	2
Rusak	Kerusakan berat yang mengganggu fungsi pelayanan jalan	Tinggi	3

Sumber: Diadaptasi dari Direktorat Jenderal Bina Marga

Setelah skor kondisi perkerasan jalan dan kondisi drainase diperoleh, dilakukan perhitungan nilai rata-rata kedua indikator untuk mendapatkan nilai parameter kondisi fisik jalan pada setiap segmen penelitian. Nilai rata-rata tersebut kemudian diklasifikasikan ke dalam tiga tingkat kerentanan sesuai dengan interval klasifikasi yang telah dijelaskan pada Bab II di Subab 2.4 tentang Klasifikasi dan Skoring Parameter Penelitian.

Tabel 3.15 Klasifikasi dan Skoring Parameter Kondisi Fisik Jalan

Nilai Rata – rata Kondisi Jalan	Klasifikasi	Skor
1,00 – 1,66	Rendah	1
1,67 – 2,33	Sedang	2
2,34 – 3,00	Tinggi	3

Nilai kondisi fisik jalan pada setiap segmen diklasifikasikan sesuai dengan interval yang telah ditetapkan, kemudian diberikan skor berdasarkan tingkat kerentanannya. Nilai skor tersebut selanjutnya digunakan sebagai data masukan dalam proses pembobotan menggunakan metode AHP dan analisis spasial menggunakan GIS**.**

2. Parameter Geometri Jalan

Parameter geometri jalan diperoleh berdasarkan hasil pengukuran langsung terhadap dua indikator, yaitu lebar perkerasan jalan dan lebar bahu jalan pada setiap segmen penelitian. Pengukuran dilakukan di lapangan

menggunakan alat ukur, kemudian hasil pengukuran diklasifikasikan sesuai dengan kriteria yang telah dijelaskan pada Bab II di Subab 2.4 Klasifikasi dan Skoring Parameter Penelitian.

Setelah proses klasifikasi dilakukan, masing-masing indikator diberikan skor sesuai dengan tingkat pengaruhnya terhadap kerentanan jalan terhadap bencana tanah longsor. Nilai skor dari kedua indikator selanjutnya dihitung untuk memperoleh nilai rata-rata parameter geometri jalan pada setiap segmen penelitian.

Tabel 3.16 Klasifikasi dan Skoring Lebar Perkerasan Jalan

Lebar Jalan	Klasifikasi	Skor
≥ 7,00	Baik	1
6,00 – 6,99	Sedang	2
< 6,00	Buruk	3

Sumber. Diadaptasi dari Direktorat Jenderal Bina Marga (2003), Permen PU Nomor 19/PRT/M/2011

Tabel 3.17 Klasifikasi dan Skoring Lebar Bahu Jalan

Lebar Jalan	Klasifikasi	Skor
≥ 2,50	Baik	1
2,00 – 2,49	Sedang	2
< 2,00	Buruk	3

Sumber. Diadaptasi dari Direktorat Jenderal Bina Marga (2003), Permen PU Nomor 19/PRT/M/2011

Setelah skor lebar perkerasan jalan dan lebar bahu jalan diperoleh, dilakukan perhitungan nilai rata-rata kedua indikator untuk memperoleh nilai parameter geometri jalan pada setiap segmen penelitian. Nilai rata-rata tersebut kemudian diklasifikasikan menjadi tiga tingkat kerentanan berdasarkan interval klasifikasi yang telah ditetapkan.

Tabel 3.18 Klasifikasi dan Skoring Parameter Geometri Jalan

Nilai Rata – rata Kondisi Jalan	Klasifikasi	Skor
1,00 – 1,66	Rendah	1
1,67 – 2,33	Sedang	2

3. Parameter Kepadatan Bangunan

Parameter kepadatan bangunan diklasifikasikan berdasarkan hasil interpretasi data spasial dan survei lapangan pada lokasi penelitian. Klasifikasi dilakukan dengan mengidentifikasi jumlah bangunan yang terdapat pada area penelitian, kemudian mengelompokkannya ke dalam kelas-kelas sesuai dengan kriteria yang telah dijelaskan pada Bab II di Subab 2.4 Klasifikasi dan Skoring Parameter Penelitian.

Setelah proses klasifikasi dilakukan, setiap kelas kepadatan bangunan diberikan skor berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap kerentanan infrastruktur jalan akibat bencana tanah longsor. Semakin tinggi kepadatan bangunan pada suatu wilayah, semakin besar skor yang diberikan karena menunjukkan potensi kerugian yang lebih tinggi apabila terjadi longsor. Sebaliknya, wilayah dengan kepadatan bangunan yang rendah diberikan skor lebih kecil.

Tabel 3.19 Klasifikasi dan Skoring Parameter Kepadatan Bangunan

Kepadatan Bangunan	Klasifikasi	Skor
Tidak terdapat bangunan	Rendah	1
Kepadatan bangunan sedang	Sedang	2
Kepadatan bangunan Tinggi	Tinggi	3

Sumber. Diadaptasi dari BNPB (2012)

3.6.4 Klasifikasi dan Skoring Variabel Keterpaparan

Parameter keterpaparan merupakan komponen yang digunakan untuk menggambarkan tingkat paparan infrastruktur jalan terhadap dampak yang ditimbulkan akibat bencana tanah longsor. Pada penelitian ini, parameter keterpaparan terdiri atas volume lalu lintas harian rata-rata (LHR), kepadatan penduduk, dan aktivitas sosial ekonomi**.** Masing-masing parameter diklasifikasikan berdasarkan hasil survei lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait sesuai dengan kriteria yang telah dijelaskan pada Bab II di Subab 2.4 Klasifikasi dan Skoring Parameter Penelitian

1. Parameter Lalu Lintas Harian Rata – rata (LHR)

Parameter Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) digunakan untuk mengetahui tingkat intensitas penggunaan ruas jalan berdasarkan jumlah kendaraan yang melintas dalam satu hari. Data lalu lintas diperoleh melalui survei pencacahan kendaraan selama enam jam pada jam-jam representatif, kemudian dikonversi menjadi LHR 24 jam menggunakan faktor konversi sesuai pedoman survei lalu lintas.

Tabel 3.20 Klasifikasi dan Skoring Parameter Vol. LHR

Estimasi LHR (kendaraan/hari)	Kategori	Skor
< 2.000	Sangat Rendah	1
2.000 - <10.000	Rendah	2
> 10.000	Sedang	3

Sumber.Diadaptasi dari Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI), Kementrian PUPR (2023) dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997)

2. Parameter Kepadatan Penduduk

Parameter kepadatan penduduk diklasifikasikan berdasarkan data jumlah penduduk dan luas wilayah yang diperoleh dari instansi terkait. Data tersebut kemudian diolah untuk memperoleh nilai kepadatan penduduk pada lokasi penelitian sesuai dengan metode yang telah dijelaskan pada Bab II.

Nilai kepadatan penduduk yang diperoleh selanjutnya diklasifikasikan ke dalam tiga tingkat keterpaparan, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Setiap kelas diberikan skor sesuai dengan tingkat keterpaparannya terhadap risiko tanah longsor. Semakin tinggi kepadatan penduduk pada suatu wilayah, semakin besar skor yang diberikan karena menunjukkan potensi jumlah penduduk yang terdampak apabila terjadi bencana tanah longsor. Sebaliknya, wilayah dengan kepadatan penduduk yang rendah diberikan skor yang lebih kecil.

Tabel 3.21 Klasifikasi dan Skoring Parameter Kepadatan Penduduk

Kepadatan Penduduk (jiwa/km2)	Klasifikasi	Skor
< 500	Sangat Rendah	1
500 – 1.000	Rendah	2
> 1.000	Sedang	3

Sumber Diadaptasi dari Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.

3. Parameter Aktivitas Sosial Ekonomi

Parameter aktivitas sosial ekonomi diklasifikasikan berdasarkan hasil survei lapangan dan data pendukung yang diperoleh dari instansi terkait. Penilaian dilakukan dengan mengidentifikasi keberadaan aktivitas masyarakat di sekitar ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara yang berpotensi terdampak apabila terjadi bencana tanah longsor. Aktivitas tersebut meliputi kawasan permukiman, fasilitas pendidikan, perdagangan, perkantoran, serta fasilitas umum lainnya sesuai dengan kondisi lokasi penelitian.

Tahap klasifikasi dilakukan dengan mengelompokkan tingkat aktivitas sosial ekonomi ke dalam tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, berdasarkan kriteria yang telah dijelaskan pada Subab 2.4. Selanjutnya, setiap kelas diberikan skor sesuai dengan tingkat keterpaparannya terhadap risiko tanah longsor. Semakin tinggi intensitas aktivitas sosial ekonomi di sekitar ruas jalan, maka semakin besar skor yang diberikan karena menunjukkan potensi dampak sosial dan ekonomi yang lebih besar apabila terjadi bencana.

Tabel 3.22 Klasifikasi Aktivitas Sosial Ekonomi

Kondisi Aktivitas Sosial Ekonomi	Kategori	skor
Tidak terdapat aktivitas sosial ekonomi yang bergantung pada ruas jalan	Rendah	1

Aktivitas sosial ekonomi sedang, melayani lebih dari satu jenis fungsi	Sedang	2
Aktivitas sosial ekonomi sangat tinggi, menjadi koridor utama berbagai kegiatan sosial dan ekonomi	Tinggi	3

Sumber. *Diadaptasi dari Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012, serta penelitian terdahulu mengenai analisis keterpaparan dalam kajian risiko bencana.*

3.6.5 Pembobotan Variabel Menggunakan Metode AHP

Setelah seluruh parameter penelitian diklasifikasikan dan diberikan skor, tahap selanjutnya adalah menentukan tingkat kepentingan relatif setiap parameter menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)**.**

Tahap ini bertujuan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif setiap parameter bahaya, kerentanan, dan keterpaparan berdasarkan penilaian responden ahli sehingga diperoleh bobot prioritas yang akan digunakan dalam analisis spasial menggunakan *Geographic Information System (GIS).*

Pembobotan dilakukan berdasarkan hasil penilaian lima responden ahli melalui kuesioner perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Setiap responden memberikan penilaian terhadap tingkat kepentingan antarparameter sesuai dengan pengalaman dan kompetensinya. Hasil penilaian tersebut kemudian diolah secara bertahap hingga diperoleh bobot prioritas yang memenuhi tingkat konsistensi penilaian.

Tahapan pembobotan meliputi penyusunan matriks perbandingan berpasangan, normalisasi matriks, perhitungan bobot prioritas, serta pengujian konsistensi untuk memastikan bahwa hasil penilaian responden memenuhi tingkat konsistensi yang dapat diterima.

1. Penyusunan Instrumen Kuesioner Analytical Hierarchy Process (AHP)

Instrumen penelitian yang digunakan dalam proses pembobotan parameter berupa kuesioner *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Penyusunan instrumen kuesioner mengacu pada prinsip perbandingan

berpasangan (*pairwise comparison*) yang dikembangkan oleh Saaty (1980**)**, yaitu setiap parameter dibandingkan secara langsung dengan parameter lainnya untuk mengetahui tingkat kepentingan relatif dalam memengaruhi risiko tanah longsor.

Penyusunan butir pertanyaan diawali dengan mengidentifikasi parameter penelitian berdasarkan hasil kajian literatur, standar teknis, serta konsep pengkajian risiko bencana yang terdiri atas tiga komponen utama, yaitu bahaya (hazard)**,** kerentanan (vulnerability)**,** dan keterpaparan (exposure)**.** Setiap komponen kemudian diuraikan menjadi beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian sehingga diperoleh parameter-parameter yang akan dibandingkan dalam kuesioner.

Selanjutnya, setiap parameter pada komponen yang sama dibandingkan secara berpasangan menggunakan matriks perbandingan. Jumlah pasangan perbandingan ditentukan berdasarkan banyaknya parameter dalam setiap komponen menggunakan persamaan kombinasi sebagai berikut.

$$\frac{n!}{2!(n-2)!} \qquad \text{.....} (3.1)$$

Keterangan:

n: Jumlah parameter dalam satu variable

Berdasarkan jumlah parameter yang digunakan dalam penelitian ini, maka penyusunan instrumen kuesioner terdiri atas:

Komponen bahaya, terdiri atas 6 parameter, sehingga menghasilkan 15 pasangan perbandingan.

Komponen kerentanan, terdiri atas 3 parameter, sehingga menghasilkan 3 pasangan perbandingan.

Komponen keterpaparan, terdiri atas 3 parameter, sehingga menghasilkan 3 pasangan perbandingan.

Dengan demikian, setiap responden memberikan penilaian terhadap 21 pasangan perbandingan yang mewakili seluruh parameter penelitian.

Setiap pasangan parameter disusun dalam bentuk pertanyaan yang meminta responden menentukan parameter mana yang lebih berpengaruh

terhadap risiko tanah longsor beserta tingkat kepentingannya. Penilaian dilakukan menggunakan skala fundamental Saaty dengan rentang nilai 1 sampai 9, sebagaimana dijelaskan pada Bab II. Nilai yang diberikan responden kemudian digunakan sebagai dasar penyusunan matriks perbandingan berpasangan untuk proses pembobotan menggunakan metode AHP.

Untuk memudahkan responden dalam memberikan penilaian, setiap parameter disertai definisi operasional dan penjelasan singkat mengenai indikator yang dibandingkan. Penyusunan instrumen dengan cara ini bertujuan agar seluruh responden memiliki pemahaman yang sama terhadap setiap parameter sehingga penilaian yang diberikan lebih objektif dan konsisten.

2. Menyusun Matriks Perbandingan Berpasangan

Penyusunan matriks dilakukan berdasarkan hasil penilaian lima responden ahli yang mengisi kuesioner perbandingan berpasangan. Pada kuesioner tersebut, setiap responden diminta membandingkan tingkat kepentingan antarparameter penelitian secara berpasangan sesuai dengan hierarki yang telah ditetapkan. Nilai perbandingan yang diberikan responden mengacu pada skala penilaian yang telah dijelaskan pada Bab II (subab 2.5.3 Matriks Perbandingan berpasangan). Selanjutnya, hasil penilaian tersebut disusun ke dalam matriks perbandingan berpasangan sebagai dasar dalam proses normalisasi dan perhitungan bobot prioritas.

Tabel 3.23 Matriks Perbandingan Berpasangan variabel Bahaya

Kriteria	Kemiringan Lereng (KL)	Jenis Tanah (JT)	Geologi (G)	Curah Hujan (CH)	Tutupan Lahan (TL)	Elevasi (E)
Kemiringan Lereng (KL)	1					
Jenis Tanah (JT)		1				

Geologi (G)			1			
Curah Hujan (CH)				1		
Tutupan Lahan (TL)					1	
Elevasi (E)						1

Tabel 3.24 Matriks Perbandingan Berpasangan variabel Kerentanan

Kriteria	**Kondisi Fisik Jalan (KFJ)**	**Geometri Jalan (GJ)**	**Kepadatan Bangunan (KB)**
Kondisi Fisik Jalan (KFJ)	1		
Geometri Jalan (GJ)		1	
Kepadatan Bangunan (KB)			1

Tabel 3.25 Matriks Perbandingan Berpasangan variabel Keterpaparan

Kriteria	**Vol. LHR**	**Kepadatan Penduduk (KP)**	**Aktivitas Sosial Ekonomi (ASE)**
Vol. LHR	1		
Kepadatan Penduduk (KP)		1	
Aktivitas Sosial			1

Ekonomi (ASE)			

Matriks perbandingan berpasangan disusun berdasarkan hasil penilaian masing-masing responden. Nilai diagonal utama bernilai satu karena setiap parameter dibandingkan dengan dirinya sendiri, sedangkan nilai pada posisi yang berlawanan merupakan nilai kebalikan (*reciprocal*) dari hasil perbandingan parameter sebelumnya. Matriks tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses normalisasi untuk memperoleh bobot prioritas setiap parameter.

3. Normalisasi Matriks

Setelah matriks perbandingan berpasangan disusun berdasarkan hasil penilaian responden, tahap selanjutnya adalah melakukan normalisasi matriks. Normalisasi dilakukan untuk mengubah nilai pada setiap elemen matriks menjadi nilai yang dapat dibandingkan secara proporsional, sehingga dapat digunakan dalam proses penentuan bobot prioritas setiap parameter.

Proses normalisasi dilakukan dengan menjumlahkan nilai pada setiap kolom matriks perbandingan berpasangan. Selanjutnya, setiap nilai pada matriks dibagi dengan jumlah kolom yang bersesuaian sehingga diperoleh matriks normalisasi. Tahapan normalisasi ini dilakukan terhadap seluruh matriks hasil penilaian masing-masing responden.

Tabel 3.26 Tahapan Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan

Tahapan	Langkah-langkah perhitungan	Rumus perhitungan
1	Menjumlahkan seluruh nilai pada setiap kolom matriks perbandingan berpasangan	=
2	Membagi setiap elemen matriks dengan jumlah kolom yang bersesuaian meggunakan persamaan normalisasi pada Subab 2.10	-

3	Menyusun hasil pembagian ke dalam elemen matriks dengan jumlah kolom yang bersesuaian	-
4	Menggunakan hasil tersebut sebagai matriks normalisasi untuk dasar perhitungan bobot prioritas	-

Proses normalisasi dilakukan secara berurutan hingga diperoleh matriks normalisasi untuk setiap responden. Matriks tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menghitung bobot prioritas masing-masing parameter menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)**.**

4. Menghitung Bobot Prioritas

Perhitungan bobot prioritas dilakukan berdasarkan matriks normalisasi yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya. Nilai bobot setiap parameter ditentukan dari nilai rata-rata pada setiap baris matriks normalisasi sehingga diperoleh bobot prioritas untuk masing-masing parameter penelitian. Tahapan perhitungan ini dilakukan terhadap seluruh matriks hasil penilaian dari masing-masing responden.

Bobot prioritas yang diperoleh menggambarkan besarnya kontribusi relatif setiap parameter terhadap risiko tanah longsor. Semakin besar nilai bobot yang dihasilkan, maka semakin besar pengaruh parameter tersebut dalam proses analisis risiko. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan bobot prioritas telah dijelaskan pada Bab II.

Tabel 3.27 Tahapan Perhitungan Bobot Prioritas

Tahapan	**Langkah-langkah perhitungan**
1	Menggunakan matriks hasil normalisasi sebagai dasar perhitungan.
2	Menjumlahkan seluruh nilai pada setiap baris matriks normalisasi.
3	Menghitung nilai rata-rata setiap baris untuk memperoleh bobot prioritas masing-masing parameter.

4	Menyusun bobot prioritas ke dalam bentuk vektor prioritas sebagai dasar pengujian konsistensi.

Bobot prioritas setiap parameter diperoleh dari nilai rata-rata masing-masing baris pada matriks normalisasi. Bobot yang dihasilkan kemudian disusun ke dalam bentuk vektor prioritas dan digunakan sebagai dasar dalam pengujian konsistensi penilaian menggunakan nilai Eigen Maksimum (λmaks)**,** Consistency Index (CI)**,** dan Consistency Ratio (CR)**.**

5. Pengujian Konsistensi Penilaian

Pengujian konsistensi dilakukan secara bertahap dengan menghitung nilai Eigen Maksimum (λmaks)**,** Consistency Index (CI)**,** dan Consistency Ratio (CR). Nilai λmaks digunakan sebagai dasar untuk menghitung Consistency Index (CI), sedangkan nilai CI selanjutnya digunakan dalam perhitungan Consistency Ratio (CR) dengan membandingkannya terhadap nilai Random Index (RI) sesuai dengan ukuran matriks yang digunakan.

Nilai RI disesuaikan dengan ukuran matriks perbandingan berpasangan yang digunakan pada setiap tingkat hierarki. Pada penelitian ini, nilai RI mengacu pada Random Index yang dikembangkan oleh Saaty (1980) sebagaimana telah dijelaskan pada Tabel 2.4. Nilai tersebut digunakan sebagai acuan dalam menghitung Consistency Ratio (CR) untuk mengetahui tingkat konsistensi penilaian responden.

Dilakukan untuk memastikan penilaian tidak acak dilakukan perhitungan:

Tabel 3.28 Tahapan Pelaksanaan Pengujian Konsistensi

Tahapan	Uraian
1	Menghitung nilai Eigen Maksimum (λmaks) berdasarkan hasil bobot prioritas.
2	Menghitung nilai Consistency Index (CI) menggunakan persamaan pada Subbab 2.12
3	Menghitung nilai Consistency Ratio (CR) dengan membandingkan nilai CI terhadap Random Index (RI).

4	Mengevaluasi tingkat konsistensi penilaian berdasarkan nilai CR yang diperoleh. $CR \leq 0,1$ = Konsisten *CR > 0,1 = Perlu Perbaikan*

6. Rekapitulasi Bobot Prioritas

Setelah seluruh tahapan pembobotan dan pengujian konsistensi selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan rekapitulasi bobot prioritas. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh bobot prioritas yang mewakili hasil pembobotan dari seluruh responden sebagai dasar dalam penentuan bobot pada setiap tingkat hierarki penelitian.

Rekapitulasi dilakukan dengan menghimpun bobot prioritas masing-masing responden, kemudian dilakukan perhitungan kumulatif sesuai dengan tahapan yang telah dijelaskan pada Subbab 2.5.10 Hasil rekapitulasi tersebut selanjutnya dinormalisasi sehingga jumlah keseluruhan bobot menjadi 1,00 (100%). Proses ini bertujuan untuk memperoleh bobot yang proporsional dan mewakili tingkat kepentingan relatif masing-masing parameter.

Tabel 3.29 Tahapan Rekapitulasi Bobot Prioritas Akhir

Tahapan	Uraian
1	Menghimpun bobot prioritas hasil perhitungan dari lima responden.
2	Mengelompokkan bobot berdasarkan masing-masing parameter penelitian.
3	Melakukan perhitungan kumulatif terhadap bobot prioritas setiap parameter.
4	Menormalisasi hasil pembobotan sehingga total bobot menjadi 1,00 (100%).
5	Menetapkan bobot level 2 sebagai bobot yang digunakan pada analisis spasial menggunakan GIS.

Diperoleh bobot prioritas kumulatif yang telah memenuhi kriteria konsistensi. Selanjutnya, bobot Level 2 (L2) digunakan sebagai faktor pembobot dalam proses analisis spasial menggunakan *Geographic*

Information System (GIS) melalui metode *weighted overlay* untuk menghasilkan peta tingkat risiko tanah longsor pada lokasi penelitian.

3.6.6 Analisis Spasial Menggunakan Geographic Information System (GIS)

Setelah diperoleh bobot prioritas melalui metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)**,** tahap selanjutnya adalah melakukan analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS)**.** Analisis spasial bertujuan untuk mengintegrasikan data spasial setiap parameter dengan bobot Level 2 (L2) sehingga diperoleh gambaran tingkat risiko tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di Desa Sungai Urang, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan.

Analisis spasial dilakukan dengan mengolah seluruh parameter bahaya, kerentanan, dan keterpaparan dalam bentuk data spasial. Setiap parameter yang telah diklasifikasikan dan diberikan skor kemudian diolah menggunakan perangkat lunak GIS melalui proses reklasifikasi dan pembobotan berdasarkan bobot Level 2 (L2) yang diperoleh dari metode AHP. Hasil pengolahan tersebut menghasilkan peta tingkat risiko tanah longsor yang menjadi dasar dalam penentuan zona prioritas penanganan.

Tahapan analisis spasial menggunakan GIS pada penelitian ini meliputi:

1. Input data Persiapan

Mempersiapkan seluruh data spasial dan data atribut yang digunakan dalam penelitian. Data diperoleh dari hasil survei lapangan, data sekunder dari instansi terkait, serta data pendukung lainnya yang berkaitan dengan parameter bahaya, kerentanan, dan keterpaparan.

Seluruh data yang digunakan disesuaikan ke dalam sistem koordinat yang sama agar dapat diolah secara terpadu menggunakan perangkat lunak GIS. Selain itu, dilakukan pemeriksaan terhadap kelengkapan, kesesuaian format, dan kualitas data sehingga seluruh parameter dapat digunakan dalam proses analisis spasial.

Tabel 3.30 Tahapan Persiapan Data Spasial

Tahapan	Uraian
1	Mengumpulkan seluruh data spasial dan data atribut penelitian.
2	Menyesuaikan sistem koordinat seluruh data spasial.
3	Memeriksa kelengkapan dan kualitas data.
4	Menyiapkan seluruh data sebagai masukan dalam analisis GIS

2. Reklasifikasi Parameter

Reklasifikasi bertujuan untuk menyeragamkan nilai setiap parameter berdasarkan klasifikasi dan skor yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya sehingga seluruh parameter dapat dianalisis dalam satu sistem pembobotan.

Proses reklasifikasi dilakukan terhadap seluruh parameter bahaya, kerentanan, dan keterpaparan menggunakan perangkat lunak GIS. Setiap kelas parameter diberikan nilai sesuai dengan hasil klasifikasi sehingga menghasilkan layer tematik yang siap digunakan pada proses pembobotan.

Tabel 3.31 Tahapan Reklasifikasi Parameter

Tahapan	Uraian
1	Menginput layer parameter ke dalam perangkat lunak GIS.
2	Mengelompokkan setiap parameter berdasarkan kelas yang telah ditentukan.
3	Memberikan nilai skor pada setiap kelas parameter.
4	Menghasilkan layer hasil reklasifikasi sebagai input proses *weighted overlay*.

3. Pembobotan Menggunakan Metode Weighted Overlay

Dalam penelitian ini, proses *overlay* dilakukan dengan mengintegrasikan *layer* bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), dan keterpaparan (*exposure*) yang telah diberikan skor dan bobot. Adapun langkah-langkah analisis *overlay* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Menginput seluruh *layer* yang telah melalui proses skoring dan pembobotan ke dalam perangkat GIS
b. Memberikan bobot Level 2 (L2) pada setiap parameter.

c. Menentukan metode *overlay* yang digunakan (misalnya *weighted overlay*)
d. Mengalikan setiap *layer* dengan bobot masing-masing hasil AHP
e. Menjumlahkan seluruh hasil perkalian untuk memperoleh nilai indeks risiko
f. Menghasilkan peta gabungan yang menunjukkan distribusi nilai risiko pada setiap lokasi

Hasil proses *weighted overlay* berupa nilai risiko pada setiap segmen penelitian. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan peta tingkat risiko tanah longsor dan penentuan zona prioritas penanganan.

4. Penyusunan Peta Tingkat Risiko Tanah Longsor

Tahap akhir dalam analisis spasial adalah menyusun peta tingkat risiko tanah longsor berdasarkan hasil proses *weighted overlay*. Nilai risiko yang diperoleh diklasifikasikan ke dalam kelas tingkat risiko sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan peta tematik yang menggambarkan sebaran tingkat risiko pada lokasi penelitian.

Peta tingkat risiko tanah longsor digunakan sebagai dasar dalam mengidentifikasi segmen jalan yang memiliki tingkat risiko rendah, sedang, maupun tinggi. Informasi tersebut selanjutnya menjadi acuan dalam penentuan zona prioritas penanganan sebagai hasil akhir penelitian.

5. Output Peta Risiko

Tahap output merupakan tahap akhir dalam analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS), yaitu penyajian hasil analisis dalam bentuk peta risiko yang informatif dan mudah dipahami. Secara teoritis, output dalam GIS adalah hasil akhir dari proses pengolahan dan analisis data spasial yang disajikan dalam bentuk visual, tabel, maupun laporan, dengan tujuan mendukung pengambilan keputusan.

Dalam penelitian ini, output yang dihasilkan berupa peta tingkat risiko bencana tanah longsor pada infrastruktur jalan yang telah melalui proses *overlay* dan klasifikasi. Peta ini menampilkan distribusi spasial tingkat risiko, mulai dari kategori rendah hingga tinggi, sehingga memberikan gambaran

yang jelas mengenai kondisi wilayah penelitian.

Penyajian peta risiko mengacu pada prinsip penyajian informasi geospasial yang diatur dalam Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011, yang menekankan bahwa informasi geospasial harus disajikan secara akurat, jelas, dan mudah dipahami. Selain itu, hasil peta juga mendukung proses pengkajian risiko sesuai dengan Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012 sebagai dasar dalam perencanaan mitigasi bencana.

Adapun langkah-langkah dalam tahap output peta risiko adalah sebagai berikut:

a. Menyusun layout peta yang meliputi judul, legenda, skala, arah utara, dan sumber data
b. Menampilkan hasil klasifikasi tingkat risiko ke dalam peta tematik
c. Melakukan pengecekan kembali kesesuaian data dan visualisasi peta
d. Menghasilkan peta akhir dalam format digital maupun cetak
e. Menginterpretasikan peta untuk menentukan wilayah prioritas mitigasi

Hasil akhir berupa peta risiko ini menjadi alat bantu yang penting dalam mengidentifikasi wilayah rawan longsor serta mendukung pengambilan keputusan dalam upaya mitigasi bencana secara efektif dan berbasis spasial.

3.6.7 Penentuan Zona Prioritas Penanganan

Setelah diperoleh peta tingkat risiko tanah longsor dari hasil analisis spasial menggunakan Geographic Information System (GIS)**,** tahap selanjutnya adalah menentukan zona prioritas penanganan pada lokasi penelitian. Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi segmen jalan yang memerlukan penanganan berdasarkan tingkat risiko yang dihasilkan dari proses integrasi antara pembobotan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan analisis spasial GIS**.**

Penentuan zona prioritas dilakukan dengan mengelompokkan hasil analisis tingkat risiko ke dalam beberapa kelas prioritas berdasarkan tingkat risiko pada setiap segmen jalan. Segmen dengan tingkat risiko yang lebih tinggi ditetapkan sebagai prioritas utama penanganan, sedangkan segmen

dengan tingkat risiko sedang dan rendah menjadi prioritas berikutnya. Hasil pengelompokan tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi penanganan terhadap ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara sesuai dengan kondisi eksisting di lokasi penelitian.

Tabel 3.31 Tahapan Penentuan Zona Prioritas Penanganan

Tahapan	Uraian
1	Menggunakan peta tingkat risiko hasil analisis *weighted overlay*.
2	Mengidentifikasi tingkat risiko pada setiap segmen jalan penelitian.
3	Mengelompokkan setiap segmen berdasarkan kelas tingkat risiko.
4	Menentukan urutan prioritas penanganan berdasarkan tingkat risiko masing-masing segmen.
5	Menyusun rekomendasi penanganan sesuai dengan tingkat prioritas yang diperoleh.

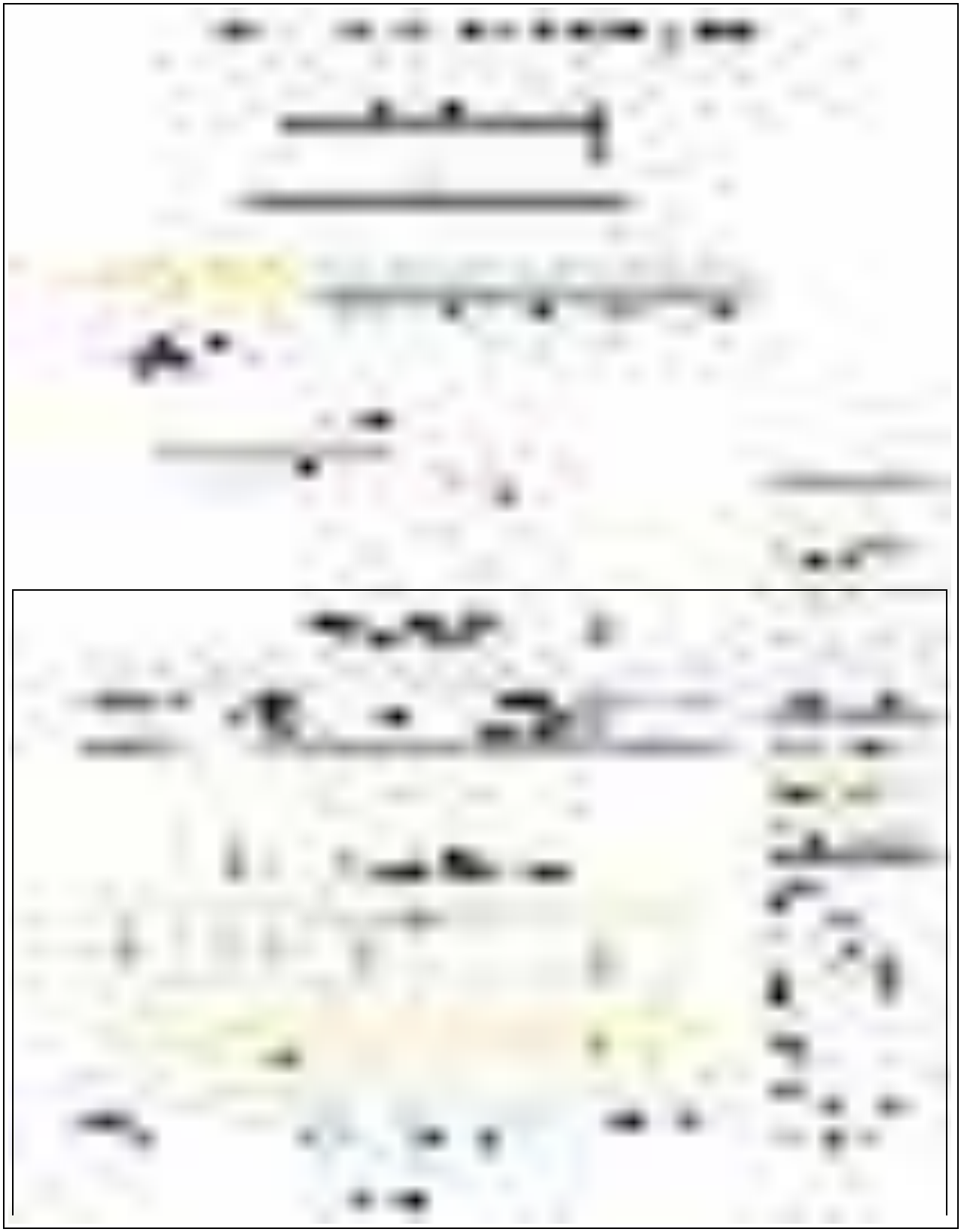
3.7 Diagram Alir Analisis Risiko Bencana Tanah Longsor pada Infrastruktur Jalan Berbasis AHP dan GIS

Diagram alir penelitian merupakan gambaran sistematis yang menunjukkan tahapan pelaksanaan penelitian dari awal hingga akhir. Alur penelitian ini dimulai dari identifikasi masalah dan studi literatur untuk menentukan variabel penelitian, yaitu bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), dan keterpaparan (*exposure*). Selanjutnya dilakukan pengumpulan data yang terdiri dari data primer melalui observasi dan wawancara, serta data sekunder dari instansi terkait. Data yang diperoleh kemudian diolah melalui proses klasifikasi parameter dan pemberian skor sesuai tingkat pengaruh terhadap potensi longsor.

Tahap analisis dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu kuantitatif dan spasial. Pendekatan kuantitatif menggunakan metode *Analytical Hierarchy*

Process (AHP) untuk menentukan bobot masing-masing variabel melalui perbandingan berpasangan, sedangkan pendekatan spasial menggunakan *Geographic Information System (GIS)* untuk mengintegrasikan data melalui proses overlay. Hasil dari kedua analisis tersebut digunakan untuk menghitung tingkat risiko bencana tanah longsor berdasarkan hubungan antara bahaya, kerentanan, dan keterpaparan.

Nilai risiko yang diperoleh kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi, serta disajikan dalam bentuk peta risiko untuk menggambarkan distribusi spasial pada lokasi penelitian.



Gambar 3.3 Flowchart Penelitian Kajian Risiko Longsor Menggunakan Metode AHP dan GIS



Gambar 3.4 Flowchart Alur AHP

BAB IV
PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Kondisi Aktual Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara yang berada di kawasan Sungai Urang, Kelurahan Tanjung Palas Hilir, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara. Ruas jalan ini merupakan jalur transportasi utama yang menghubungkan Tanjung Selor dengan beberapa wilayah di Kabupaten Bulungan sehingga memiliki peran penting dalam mobilitas masyarakat dan distribusi barang.

Secara fisik, lokasi penelitian berada pada kawasan perbukitan dengan kondisi topografi yang didominasi oleh lereng dengan tingkat kemiringan yang bervariasi. Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan, sebagian besar badan jalan berada berdampingan dengan lereng alami yang memiliki karakteristik material tanah lepas dan batuan berukuran besar.



Sumber. Google Earth & Dokumentasi Penulis

Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitian di Jalan Poros pTrans Kalimantan Utara

Lokasi penelitian dipilih karena pada tanggal 8 Maret 2026 terjadi bencana tanah longsor yang men gakibatkan material tanah dan batuan menutupi sebagian badan jalan. Kejadian tersebut menunjukkan adanya ketidakstabilan lereng yang berpotensi mengganggu fungsi jalan sebagai jalur transportasi utama. Selain itu, lokasi penelitian masih memperlihatkan kondisi lereng yang rentan, ditandai dengan adanya material tanah lapuk, batuan berukuran besar, serta kemiringan lereng yang cukup terjal.

Pada beberapa titik, kondisi lereng berada sangat dekat dengan badan jalan tanpa adanya struktur penahan tanah yang memadai. Kondisi ini menunjukkan bahwa kestabilan lereng di lokasi penelitian cukup dipengaruhi oleh faktor alami seperti kemiringan lereng, jenis material penyusun, serta kondisi drainase di sekitar jalan.

Selain itu, tutupan vegetasi pada lokasi penelitian tidak merata. Beberapa bagian lereng masih ditumbuhi semak dan pepohonan kecil yang berfungsi membantu mengurangi erosi, namun terdapat pula area yang relatif terbuka sehingga lebih rentan terhadap pelapukan dan pengikisan tanah akibat curah hujan.

Sebagai infrastruktur jalan strategis, ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang memiliki peranan penting dalam mendukung mobilitas masyarakat, distribusi barang dan jasa, serta konektivitas antarwilayah di Kabupaten Bulungan dan Provinsi Kalimantan Utara. Oleh karena itu, identifikasi dan analisis risiko longsor pada kawasan ini diperlukan sebagai dasar dalam penyusunan upaya mitigasi dan penanganan bencana yang lebih efektif.

4.1.1 Letak Geografis Lokasi Penelitian

Secara administratif, lokasi penelitian berada di ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara kawasan Sungai Urang, Kelurahan Tanjung Palas Hilir, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kali mantan Utara. Berdasarkan hasil pemetaan wilayah ini terletak pada koordinat sekitar 2°51'42.25" LU dan 117°17'16.17" BT.

Lokasi Kalimantan Utara, Kab. Bulungan	Lokasi Penelitian
	

Sumber. Google Earth

Gambar 4.2 Peta Letak Geografis Lokasi Penelitian

Posisi geografis tersebut berada pada jalur utama penghubung antarwilayah di Kabupaten Bulungan sehingga apabila terjadi longsor akan berdampak terhadap aktivitas transportasi masyarakat dan distribusi barang.

4.1.2 Kondisi Fisik Wilayah

Kondisi fisik wilayah pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di Kawasan Sungai Urang, Kec. Tanjung Palas, Kab. Bulungan, menggambarkan karakteristik lingkungan alam yang meliputi topografi berupa perbukitan dengan variasi kemiringan lereng sedang hingga curam. Sebagian badan jalan berada tepat di bawah lereng sehingga berpotensi terdampak apabila terjadi pergerakan tanah.



Sumber. Dokumentasi Peneliti (2026)

Gambar 4.3 Kondisi lereng alami di sisi Ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara, Kawasan Sungai Urang

Material lereng didominasi oleh tanah hasil pelapukan yang memiliki tingkat kekompakkan relatif rendah. Selain itu, ditemukan beberapa bongkah batuan yang tersebar di sekitar kaki lereng sebagai indikasi adanya proses pelapukan dan pergerakan material dari bagian atas lereng. Kondisi ini menyebabkan stabilitas lereng menjadi lebih rentan ketika menerima pengaruh curah hujan yang tinggi.

4.1.3 Kondisi Infrastruktur Jalan

Kondisi infrastruktur jalan pada ruas jalan Poros Trans Kalimantan Utara di Kawasan Sungai Urang, Kec. Tanjung Palas, Kab. Bulungan memiliki peran penting dalam mendukung aktivitas transportasi masyarakat serta distribusi barang dan jasa antar wilayah.



Sumber. Dokumentasi Peneliti (2026)

Gambar 4.4 Kondisi Fisik Alami Ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara, Kawasan Sungai Urang

Secara umum, ruas jalan ini merupakan jalan utama yang menghubungkan wilayah – wilayah strategis di Kabupaten Bulungan. Kondisi perkerasan jalan pada beberapa segmen menunjukkan variasi, mulai dari kondisi baik hingga terdapat bagian yang mengalami kerusakan ringan seperti retak dan penurunan permukaan jalan.

Selain itu, pada beberapa titik ruas jalan terdapat kondisi yang berdekatan langsung dengan lereng alami, sehingga berpotensi terdampak apabila terjadi pergerakan tanah. Kondisi drainase di sekitar jalan juga berpengaruh terhadap stabilitas badan jalan, terutama saat curah hujan tinggi

yang dapat menyebabkan genangan maupun peningkatan aliran air permukaan.

4.1.4 Penggunaan Lahan di Lokasi Penelitian

Penggunaan lahan di sekitar lokasi penelitian pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara kawasan Sungai Urang didominasi oleh vegetasi alami berupa semak belukar, rumput, dan pepohonan yang tumbuh pada lereng perbukitan. Selain itu, terdapat beberapa area terbuka yang memperlihatkan permukaan tanah secara langsung akibat minimnya tutupan vegetasi. Kondisi penggunaan lahan tersebut berpengaruh terhadap tingkat kestabilan lereng karena vegetasi berperan dalam mengurangi erosi dan meningkatkan kekuatan tanah melalui sistem perakaran.

Berdasarkan hasil observasi dilapangan, penggunaan lahan pada area penelitian didominasi oleh tutupan vegetasi dengan beberapa bagian berupa lahan terbuka di sekitar lereng. Dominasi vegetasi menunjukkan bahwa sebagian wilayah masih memiliki perlindungan alami terhadap proses erosi. Namun demikian, keberadaan area terbuka dapat meningkatkan potensi terjadinya pengikisan tanah ketika curah hujan tinggi.



Sumber. Dokumentasi Peneliti (2026)

4.5 Kondisi Vegetasi pada Lereng di Lokasi Penelitian

Berdasarkan hasil observasi lapangan, lokasi penelitian berada pada lereng yang berbatasan langsung dengan ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara. Lereng memiliki kemiringan yang relatif curam dengan perbedaan elevasi yang cukup tinggi antara badan jalan dan bagian atas lereng. Kondisi

tersebut menyebabkan lereng memiliki potensi ketidakstabilan yang dapat memicu terjadinya longsor maupun runtuhan batuan, terutama pada saat curah hujan tinggi.

Material penyusun lereng didominasi oleh tanah hasil pelapukan yang disertai fragmen batuan berukuran sedang hingga besar. Selain itu, tutupan vegetasi pada lereng terlihat tidak merata, dimana beberapa bagian masih ditumbuhi pepohonan dan semak, sedangkan sebagian lainnya berupa area terbuka. Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor kemiringan lereng, karakteristik material penyusun, dan tutupan vegetasi menjadi faktor yang mempengaruhi risiko longsor pada lokasi penelitian.

4.1.5 Kejadian Tanah Longsor di Lokasi Penelitian

Berdasarkan data Laporan Kejadian Bencana dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Bulungan, telah terjadi bencana tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan (Sungai Urang), Kelurahan Tanjung Palas Hilir, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara pada tanggal 08 Maret 2026 pukul 13.00 WITA. Kejadian tersebut dikategorikan sebagai bencana akibat cuaca ekstrem yang memicu longsoran tebing di sekitar badan jalan.

Informasi awal kejadian diperoleh dari laporan masyarakat yang melintas di lokasi dan menemukan adanya longsoran tebing pada ruas jalan tersebut. Menindaklanjuti laporan tersebut, BPBD Kabupaten Bulungan segera melakukan pengecekan lapangan dan berkoordinasi dengan instansi terkait untuk melaksanakan penanganan darurat. Longsoran yang terjadi mengakibatkan material tanah dan batuan menutupi sebagian badan jalan sehingga berpotensi mengganggu kelancaran lalu lintas pada ruas jalan nasional yang menjadi jalur penghubung penting di Kabupaten Bulungan.

Upaya penanganan awal dilakukan melalui pembersihan material longsoran menggunakan alat berat oleh Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional (Satker PJN). Namun, berdasarkan laporan BPBD, pada pukul 18.00 WITA longsor susulan kembali terjadi pada lokasi yang sama. Longsor

susulan tersebut menyebabkan beberapa puing batu berukuran besar kembali menutupi badan jalan, yang menunjukkan bahwa kondisi lereng pada lokasi kejadian masih dalam keadaan tidak stabil dan memiliki potensi pergerakan massa tanah lanjutan.



Sumber. Laporan Kejadian BPBD Kab. Bulungan

Gambar 4.6 Dokumentasi Kejadian Tanah Longsor

Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa faktor kestabilan lereng pada lokasi penelitian relatif rendah. Terjadinya longsor susulan dalam rentang waktu yang singkat menunjukkan adanya material tanah dan batuan yang masih mengalami pelemahan akibat pengaruh cuaca ekstrem. Curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan kadar air dalam tanah sehingga mengurangi kuat geser tanah dan meningkatkan tekanan pori. Akibatnya, massa tanah menjadi lebih mudah bergerak dan menyebabkan terjadinya longsor pada lereng yang memiliki kondisi geologi dan kemiringan tertentu.

Untuk mengurangi risiko kecelakaan dan longsor susulan, BPBD Kabupaten Bulungan bersama Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PU-PR) Kabupaten Bulungan melakukan pemasangan garis pembatas (scotlight), lampu torpedo, serta rambu-rambu peringatan pada area longsor. Selain itu, koordinasi lintas sektor juga dilakukan dengan melibatkan Dinas Perhubungan, Satker Pelaksanaan Jalan Nasional Kalimantan Utara, TNI, Polri, dan instansi terkait lainnya guna memastikan penanganan darurat berjalan dengan baik serta menjaga keselamatan pengguna jalan yang melintas di lokasi tersebut.

Kejadian longsor pada Jalan Poros Trans Kalimantan (Sungai Urang) ini menjadi bukti nyata bahwa ruas jalan pada lokasi penelitian memiliki tingkat risiko longsor yang cukup tinggi. Kejadian tersebut juga memperkuat pentingnya analisis faktor-faktor penyebab longsor, seperti kemiringan lereng, curah hujan, kondisi geologi, jenis tanah, dan tutupan lahan yang dianalisis dalam penelitian ini. Hasil analisis kerawanan yang diperoleh diharapkan dapat menjadi dasar dalam penyusunan strategi mitigasi bencana serta perencanaan penanganan lereng guna mengurangi risiko longsor pada ruas jalan tersebut di masa mendatang.

4.2 Analisis Variabel Bahaya (Hazard)

Analisis variabel bahaya (hazard) dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat potensi terjadinya tanah longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang, Kecamatan Tanjung Palas, Kabupaten Bulungan. Variabel bahaya dalam penelitian ini terdiri atas enam parameter, yaitu kemiringan lereng, jenis tanah, geologi, curah hujan, tutupan lahan, dan elevasi.

Setiap parameter dianalisis menggunakan data spasial dan hasil survei lapangan. Selanjutnya, masing-masing parameter diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan pada BAB III. Setiap kelas diberikan skor sesuai tingkat pengaruhnya terhadap potensi terjadinya tanah longsor. Hasil analisis setiap parameter kemudian digunakan sebagai input dalam proses pembobotan menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dan analisis spasial menggunakan Geographic Information System (GIS).

1. Analisis Parameter Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan salah satu parameter utama yang mempengaruhi potensi terjadinya tanah longsor. Semakin besar sudut kemiringan lereng, maka gaya pendorong massa tanah akan semakin besar sehingga kestabilan lereng cenderung menurun. Oleh karena itu, parameter

kemiringan lereng digunakan sebagai salah satu indikator dalam analisis bahaya tanah longsor.

Data kemiringan lereng diperoleh dari Digital Elevation Model (DEM) yang kemudian diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS untuk menghasilkan peta kemiringan lereng. Selanjutnya, nilai kemiringan diklasifikasikan sesuai klasifikasi yang telah ditetapkan pada BAB III dan diberikan skor berdasarkan tingkat kerawanan longsor.

Tabel 4.1 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Kemiringan Lereng

Kelas Kemiringan Lereng	Skor
0–2 %	1
2–15 %	2
15–25 %	3
25–40 %	4

Berdasarkan hasil pengolahan data kemiringan lereng, ruas jalan penelitian memiliki variasi kemiringan mulai dari lereng landai hingga lereng curam. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa sebagian besar segmen berada pada kelas kemiringan 15–25% dan 25–40% yang memperoleh skor 3 dan 4**.** Kondisi tersebut menunjukkan bahwa ruas jalan penelitian didominasi oleh topografi berbukit sehingga meningkatkan potensi terjadinya longsor. Sementara itu, beberapa segmen berada pada kelas kemiringan 0–2% dan 2–15% dengan skor 1 dan 2 yang menunjukkan tingkat bahaya lebih rendah.



Sumber. Hasil Analisis Menggunakan Digital Elevation Model (DEM)

Gambar 4.7 Peta kemiringan Lereng Ruas Jalan Sungai Urang

2. Analisis Parameter Jenis Tanah

Parameter jenis tanah digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng dan potensi terjadinya tanah longsor. Data jenis tanah diperoleh dari peta jenis tanah yang selanjutnya dioverlay dengan ruas jalan penelitian menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Berdasarkan hasil overlay, setiap segmen jalan diidentifikasi menurut jenis tanah yang dilaluinya dan kemudian diberikan skor sesuai dengan klasifikasi yang digunakan dalam penelitian.

Berdasarkan hasil overlay antara peta jenis tanah dengan ruas jalan penelitian, diketahui bahwa seluruh segmen berada pada satuan tanah Eutric Fluvisols (kode FAO Je62-2/3a)**.** Eutric Fluvisols merupakan tanah aluvial yang terbentuk dari endapan material sungai dengan perkembangan profil tanah yang masih muda serta memiliki tingkat kejenuhan basa yang tinggi.Berdasarkan klasifikasi yang telah ditetapkan, jenis tanah tersebut memperoleh skor 1, sehingga seluruh segmen memiliki nilai yang sama pada parameter jenis tanah.

Tabel 4.2 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Jenis Tanah

Jenis Tanah	Skor
Je62-2/3a	**1**

Berdasarkan hasil skoring tersebut, parameter jenis tanah tidak menunjukkan variasi nilai antarsegmen karena seluruh ruas jalan memiliki jenis tanah yang sama. Dengan demikian, parameter ini memberikan kontribusi yang seragam dalam perhitungan indeks bahaya tanah longsor. Perbedaan tingkat bahaya pada masing-masing segmen lebih dipengaruhi oleh parameter lain, seperti kemiringan lereng, curah hujan, geologi, tutupan lahan, dan elevasi yang memiliki variasi skor pada lokasi penelitian.

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa tidak terdapat perubahan jenis tanah sepanjang ruas jalan penelitian sehingga nilai parameter jenis tanah bersifat konstan pada seluruh segmen. Kondisi ini mengindikasikan bahwa parameter jenis tanah bukan merupakan faktor pembeda tingkat bahaya

longsor pada lokasi penelitian. Oleh karena itu, variasi tingkat bahaya yang dihasilkan pada analisis spasial lebih dipengaruhi oleh parameter lain yang memiliki karakteristik berbeda pada setiap segmen jalan.



Sumber. ArcGIS

Gambar 4.8 Peta Jenis Tanah hasil Overlay

3. Analisis Parameter Geologi

Berdasarkan hasil overlay antara peta geologi dengan ruas jalan penelitian, diketahui bahwa seluruh segmen berada pada satuan Batuan Gunungapi Serantak.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi geologi di sepanjang ruas jalan relatif homogen sehingga seluruh segmen memperoleh skor 5**.** Skor tersebut mengindikasikan bahwa karakteristik batuan penyusun pada lokasi penelitian memiliki tingkat pengaruh yang tinggi terhadap potensi terjadinya tanah longsor.

Meskipun tidak menjadi faktor pembeda antarsegmen, parameter geologi tetap memberikan kontribusi yang besar dalam pembentukan tingkat bahaya longsor karena kondisi batuan yang telah mengalami pelapukan dan rekahan cenderung memiliki kestabilan lereng yang lebih rendah, terutama apabila dipengaruhi oleh curah hujan yang tinggi dan kemiringan lereng yang curam.

Tabel 4.3 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Geologi

Satuan Geologi	Skor
Batuan Gunungapi Serantak	5



Sumber. Hasil pengolahan penulis menggunakan ArcGIS Pro berdasarkan Peta Geologi Kabupaten Bulungan, Badan Geologi, Kementerian ESDM.

Gambar 4.9 Hasil Overlay Peta Geologi

4. Analisis Parameter Curah Hujan

Parameter curah hujan digunakan untuk mengetahui pengaruh intensitas hujan terhadap potensi terjadinya tanah longsor. Curah hujan merupakan salah satu faktor pemicu utama longsor karena air hujan yang meresap ke dalam tanah dapat meningkatkan kadar air dan tekanan pori, sehingga menurunkan kuat geser tanah serta mengurangi kestabilan lereng. Data curah hujan pada penelitian ini diperoleh dari data *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS) yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat curah hujan sesuai klasifikasi yang digunakan dalam penelitian.

Hasil overlay antara data curah hujan dengan ruas jalan penelitian menunjukkan bahwa seluruh segmen berada pada kelas Sangat Tinggi**.** Berdasarkan klasifikasi tersebut, seluruh segmen diberikan skor 4 sebagai representasi tingkat bahaya yang tinggi.

Tabel 4.4 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Curah Hujan

Kelas Curah hujan	**Skor**
Sangat Tinggi	4

Berdasarkan hasil skoring, seluruh segmen jalan memperoleh skor 4, yang menunjukkan bahwa kondisi curah hujan pada lokasi penelitian memiliki tingkat pengaruh yang tinggi terhadap potensi terjadinya tanah longsor. Tidak adanya variasi kelas curah hujan menunjukkan bahwa seluruh ruas jalan berada dalam kondisi iklim yang relatif seragam, sehingga parameter curah hujan memberikan kontribusi yang sama pada setiap segmen dalam analisis bahaya.



Sumber. Hasil pengolahan penulis menggunakan ArcGIS Pro berdasarkan data CHIRPS, Tahun 2025.

Gambar 4.10 Peta Sebaran Curah Hujan pada Ruas Jalan Sungai Urang

5. Tutupan Lahan

Parameter tutupan lahan digunakan untuk mengidentifikasi kondisi penggunaan lahan yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng dan potensi terjadinya tanah longsor. Jenis tutupan lahan memengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap air hujan, mengurangi limpasan permukaan (*surface runoff*), serta memperkuat lereng melalui sistem perakaran vegetasi. Data tutupan lahan diperoleh dari hasil overlay peta tutupan lahan dengan ruas jalan penelitian menggunakan perangkat lunak ArcGIS, kemudian diklasifikasikan berdasarkan kriteria yang digunakan dalam penelitian.

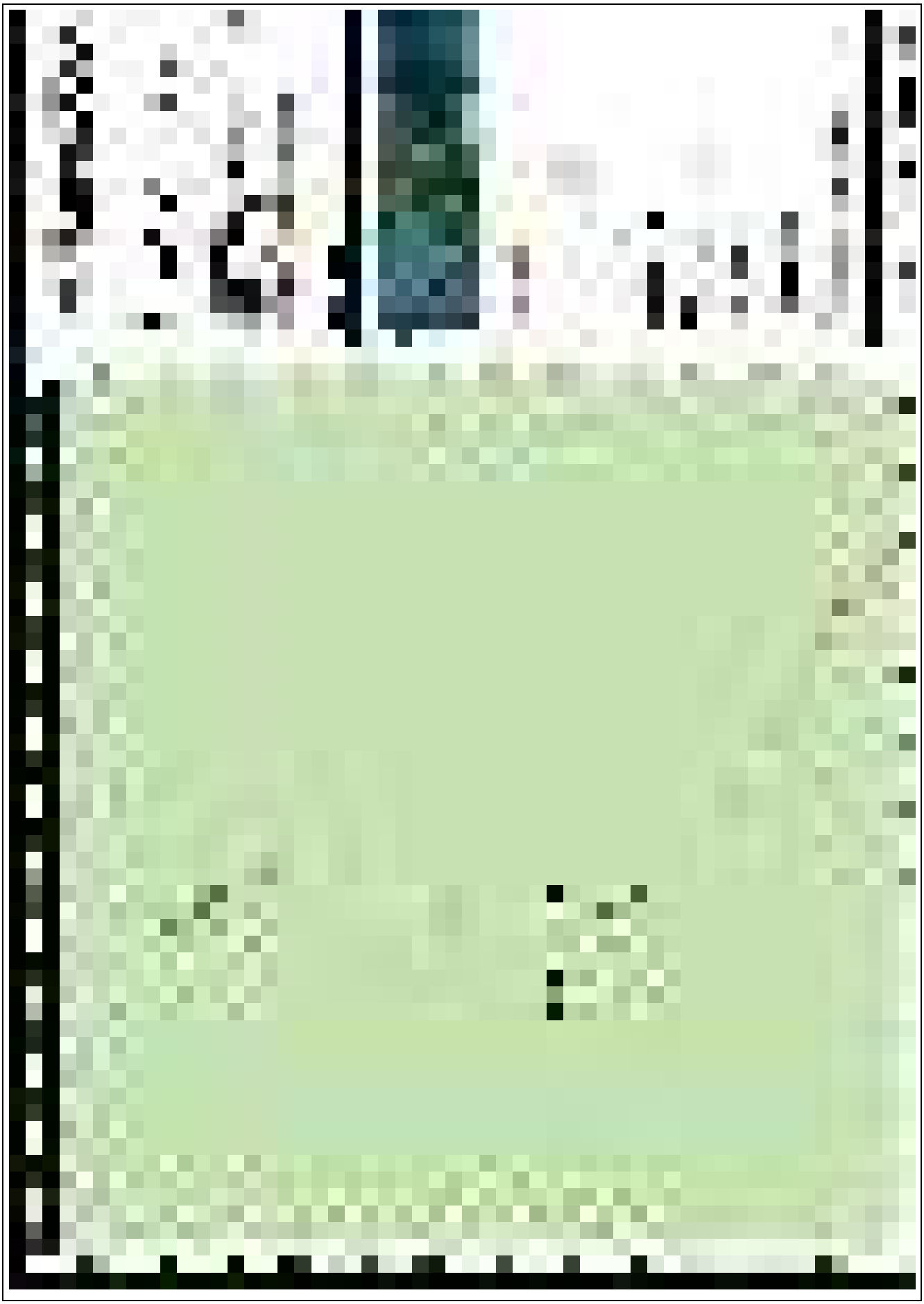
Hasil overlay menunjukkan bahwa seluruh segmen jalan berada pada tutupan lahan Pertanian Lahan Kering Campur**.** Berdasarkan klasifikasi yang telah ditetapkan, tutupan lahan tersebut memperoleh skor 1**,** sehingga seluruh segmen memiliki nilai yang sama pada parameter tutupan lahan.

Tabel 4.5 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Tutupan Lahan

Tutupan Lahan	Skor
Pertanian Lahan Kering Campur	4

Berdasarkan hasil skoring tersebut, seluruh segmen jalan memperoleh skor 1**,** yang menunjukkan bahwa kondisi tutupan lahan pada lokasi penelitian relatif seragam. Dengan demikian, parameter tutupan lahan tidak memberikan variasi nilai antarsegmen dalam analisis bahaya tanah longsor.

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh ruas jalan penelitian didominasi oleh tutupan lahan Pertanian Lahan Kering Campur, sehingga seluruh segmen memperoleh skor yang sama. Kondisi ini mengindikasikan bahwa penggunaan lahan di sepanjang lokasi penelitian memiliki karakteristik yang relatif homogen dan tidak menjadi faktor pembeda tingkat bahaya longsor antarsegmen. Meskipun demikian, tutupan lahan tetap berperan dalam memengaruhi kondisi hidrologi lereng melalui kemampuan vegetasi dalam mengurangi limpasan permukaan, meningkatkan infiltrasi, dan membantu memperkuat tanah melalui sistem perakaran.



Sumber. Hasil pengolahan penulis menggunakan ArcGIS Pro berdasarkan data Tutupan Lahan Indonesia, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Tahun 2025.

Gambar 4.11 Hasil Pemotongan (Clip) Data Tutupan Lahan pada Daerah Penelitian

6. Analisis Parameter Elevasi

Parameter elevasi digunakan untuk menggambarkan kondisi ketinggian wilayah penelitian terhadap permukaan laut yang berpengaruh terhadap karakteristik topografi dan potensi terjadinya tanah longsor. Data elevasi diperoleh dari hasil pengolahan Digital Elevation Model (DEM) yang kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kelas sesuai dengan kriteria yang digunakan dalam penelitian.

Selanjutnya, setiap segmen jalan diklasifikasikan berdasarkan kelas elevasi dan diberikan skor untuk menunjukkan tingkat potensi bahaya. Semakin tinggi elevasi suatu lokasi, semakin besar skor yang diberikan karena kondisi topografi pada daerah dengan elevasi lebih tinggi umumnya memiliki relief yang lebih terjal dan lebih rentan mengalami ketidakstabilan lereng.

Tabel 4.6 Hasil Klasifikasi dan Skoring Parameter Elevasi

Kelas Elevasi	Skor
0–50 meter	**1**
50–100 meter	**2**
>100 meter	**3**

Berdasarkan hasil klasifikasi elevasi, ruas jalan penelitian berada pada tiga kelas elevasi, yaitu 0–50 meter**,** 50–100 meter, dan lebih dari 100 meter. Segmen yang berada pada elevasi lebih dari 100 meter memperoleh skor **3**, sedangkan elevasi 50–100 meter memperoleh skor **2** dan elevasi 0–50 meter memperoleh skor **1**. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi elevasi lokasi, semakin besar kontribusinya terhadap tingkat bahaya longsor pada ruas jalan penelitian.



Sumber. Digital Elevation Model (DEM)

Gambar 4.12 Peta Elevasi pada Daerah Penelitian

4.3 Analisis Variabel Kerentanan

Variabel kerentanan merupakan salah satu komponen yang digunakan untuk menilai tingkat kerentanan infrastruktur jalan terhadap kejadian tanah longsor pada lokasi penelitian. Analisis kerentanan dilakukan berdasarkan kondisi eksisting infrastruktur jalan yang diperoleh melalui survei lapangan dan interpretasi data spasial. Variabel kerentanan dalam penelitian ini terdiri atas tiga parameter, yaitu kondisi fisik jalan, kepadatan bangunan, dan geometri jalan**.**

Hasil analisis setiap parameter digunakan untuk menggambarkan tingkat kerentanan masing-masing segmen jalan terhadap dampak tanah longsor. Selanjutnya, hasil tersebut menjadi dasar dalam penyusunan indeks dan tinggi sesuai dengan pedoman klasifikasi penelitian.

1. Analisis Kondisi Fisik Jalan

Kondisi fisik jalan merupakan parameter yang menggambarkan tingkat ketahanan infrastruktur jalan terhadap gangguan akibat tanah longsor. Penilaian kondisi fisik jalan dilakukan berdasarkan kondisi aktual di lapangan karena kualitas infrastruktur sangat memengaruhi kemampuan ruas jalan dalam mempertahankan fungsi pelayanannya. Jalan yang berada dalam kondisi baik memiliki tingkat kerentanan yang lebih rendah dibandingkan jalan yang telah mengalami kerusakan.

Dalam penelitian ini, kondisi fisik jalan dinilai berdasarkan dua subparameter, yaitu kondisi perkerasan jalan dan kondisi drainase. Kedua subparameter tersebut dipilih karena saling berkaitan dalam menjaga kinerja dan umur pelayanan jalan. Perkerasan jalan berfungsi menahan beban lalu lintas, sedangkan drainase berfungsi mengalirkan air permukaan sehingga dapat mengurangi genangan dan infiltrasi air yang berpotensi mempercepat kerusakan jalan maupun menurunkan kestabilan lereng

a. Kondisi Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan struktur yang berfungsi menerima dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar sehingga jalan dapat memberikan tingkat pelayanan yang optimal. Kondisi perkerasan yang baik menunjukkan bahwa struktur jalan masih mampu berfungsi dengan baik,

sedangkan kerusakan pada perkerasan dapat mengurangi kualitas pelayanan jalan serta meningkatkan kerentanan terhadap dampak tanah longsor.

Penilaian kondisi perkerasan dilakukan berdasarkan hasil survei lapangan pada setiap segmen jalan dengan mengidentifikasi jenis dan tingkat kerusakan yang terdapat pada permukaan perkerasan. Kerusakan yang diamati meliputi retak, lubang, deformasi, pelepasan butiran, dan bentuk kerusakan lainnya yang memengaruhi fungsi pelayanan jalan.

Tabel 4.7 Hasil Pengamatan Kerusakan Perkerasan Jalan

Segmen	**STA**	**Ukuran Kerusakan**	**Kondisi**	**Dokumentasi**
S1	0+150 - 0+178	Ruas sebelah Kiri Panjang 10,24 m lebar 2,92 m	Retak blok/retak acak ringan pada area tambalan aspal lama	
		Ruas Sebelah Kanan Panjang 12,7 m Lebar 4,47 m	Retak kulit buaya dan adanya penurunan permukaan jalan yang menyebabkan terbentuknya cekungan memanjang pada badan jalan.	

Segmen	STA	Ukuran Kerusakan	Kondisi	Dokumentasi
S2	0+200 – 0+229	Panjang 14,39 m Lebar 2,60 m	pada area tambalan aspal ada deformasi ringan	
	0+250 – 0+285, 76	Panjang 4,27 m Lebar 2 m	Retak memanjang pada batas antara perkeresan lama dan area tambalan. Penurunan badan jalan	
	0+350 – 0+359, 39	Panjang 9,39 m Lebar 3 m	Ketidakrataan permukaan (deformasi ringan)	

Segmen	STA	Ukuran Kerusakan	Kondisi	Dokumentasi
	0+350 – 0+370	Panjang 1 m Lebar 1 m	Terdapat lubang pada permukaan perkerasan disertai pelepasan butiran agregat	
		Panjang 7 cm Lebar 4 cm	Lubang disertai retakan pada permukaan perkerasan	
S3	0+400 – 0+410	Panjang 6,87 m Lebar 2,5 m	Tambalan aspal yang agak terturun, dan terdapat material lepas berupa kerikil dan tanah yang berasal dari lereng di sekitar jalan.	

Segmen	STA	Ukuran Kerusakan	Kondisi	Dokumentasi
S3	0+400 – 0+460	Panjang 6,16 m Lebar 1,20 m	Kerusakan retak kulit buaya (Alligator Cracking)	
	0+400 – 0+465, 16	Panjang 2 m Lebar 2 m	Kerusakan retak kulit buaya (Alligator Cracking) dan Ketidakrataan permukaan (deformasi ringan)	

Sumber. Hasil Survei Lapangan Tahun 2026

Hasil Skoring Per Segmen

Setelah dilakukan identifikasi jenis dan tingkat kerusakan pada setiap titik pengamatan, langkah selanjutnya adalah melakukan proses skoring terhadap masing-masing kerusakan berdasarkan klasifikasi yang telah disusun pada Tabel 3.13 Kondisi dan Skoring Parameter Kondisi Perkerasan Jalan.

Skoring dilakukan untuk mengubah data hasil observasi lapangan yang bersifat kualitatif menjadi data kuantitatif sehingga dapat dianalisis menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Weighted Overlay* pada Sistem Informasi Geografis.

Karena unit analisis dalam penelitian ini adalah segmen jalan, sedangkan dalam satu segmen terdapat beberapa titik pengamatan dengan tingkat kerusakan yang berbeda, maka diperlukan satu nilai yang dapat mewakili kondisi keseluruhan segmen. Oleh karena itu, nilai skor setiap titik

pengamatan dihitung menggunakan rata-rata aritmatika sehingga diperoleh satu nilai representatif untuk masing-masing segmen.

Tabel 4.8 Hasil Skoring Kondisi Perkerasan Jalan

Segmen	STA	Ukuran Kerusakan	Kondisi	Skor
S1	0+150 - 0+178	Ruas sebelah Kiri Panjang 10,24 m lebar 2,92 m	Retak blok/retak acak ringan pada area tambalan aspal lama	1
		Ruas Sebelah Kanan Panjang 12,7 m Lebar 4,47 m	Retak kulit buaya dan adanya penurunan permukaan jalan yang menyebabkan terbentuknya cekungan memanjang pada badan jalan.	3
S2	0+200 – 0+229	Panjang 14,39 m Lebar 2,60 m	pada area tambalan aspal ada deformasi ringan	2
	0+250 – 0+285,76	Panjang 4,27 m Lebar 2 m	Retak memanjang pada batas antara perkeresan lama dan area tambalan. Penurunan badan jalan	3
	0+350 – 0+359,39	Panjang 9,39 m Lebar 3 m	Ketidakrataan permukaan (deformasi ringan)	2
	0+350 – 0+370	Panjang 1 m Lebar 1 m	Terdapat lubang pada permukaan perkerasan disertai pelepasan butiran agregat	3

Segmen	STA	Ukuran Kerusakan	Kondisi	Skor
		Panjang 7 cm Lebar 4 cm	Lubang disertai retakan pada permukaan perkerasan	3
S3	0+400 – 0+410	Panjang 6,87 m Lebar 2,5 m	Tambalan aspal yang agak terturun, dan terdapat material lepas berupa kerikil dan tanah yang berasal dari lereng di sekitar jalan.	2
	0+400 – 0+460	Panjang 6,16 m Lebar 1,20 m	Kerusakan retak kulit buaya (Alligator Cracking)	3
	0+400 – 0+465,16	Panjang 2 m Lebar 2 m	Kerusakan retak kulit buaya (Alligator Cracking) dan Ketidakrataan permukaan (deformasi ringan)	3

Sumber. Hasil Survei Lapangan Penelitian

Nilai rata-rata skor hasil observasi pada setiap segmen masih berupa data kontinu sehingga perlu direklasifikasi ke dalam kelas kerentanan. Reklasifikasi dilakukan menggunakan metode Equal Interval karena metode ini membagi rentang data menjadi interval yang sama sehingga setiap kelas memiliki lebar interval yang identik.

Perhitungan nilai rata – rata setiap segmen

Perhitungan nilai rata – rata setiap segmen menggunakan persamaan 2.3

Segmen 1

Pada Segmen 1 terdapat dua titik pengamatan. Titik pertama memiliki jenis kerusakan retak blok yang termasuk kategori kerusakan ringan sehingga memperoleh skor 2. Titik kedua mengalami retak kulit buaya

yang disertai penurunan badan jalan (*settlement*) sehingga termasuk kategori kerusakan tinggi dengan skor 4.

Perhitungan nilai rata – rata Segmen 1 adalah sebagai berikut:

$$= \frac{\quad}{\quad}$$

$$= 2{,}00$$

Nilai rata-rata sebesar 2,00 kemudian direklasifikasi menggunakan metode Equal Interval sehingga termasuk dalam kelas Sedang**.**

Segmen 2

Pada Segmen 2 ditemukan lima titik kerusakan yang terdiri atas deformasi ringan, retak memanjang disertai penurunan badan jalan, deformasi ringan, lubang pada permukaan jalan, serta lubang yang disertai retakan. Perhitungan rata-rata dilakukan sebagai berikut.

$$= \frac{\quad}{\quad}$$

$$= 2{,}60$$

Nilai rata – rata sebesar 2,60 termasuk dalam kelas tinggi.

Segmen 3

Perhitungan nilai rata – rata dilakukan sebagai berikut:

$$= \frac{\quad}{\quad}$$

$$= 2{,}67$$

Nilai rata-rata sebesar 2,67 termasuk ke dalam kelas Tinggi**.**

Tabel 4.9 Hasil Skoring Kondisi Perkerasan Jalan per Segmen

Segmen	Jumlah Titik	Total Skor	Nilai Rata - rata	Kelas Kerentanan
1	2	6	2,00	Sedang
2	5	20	2,60	Tinggi
3	3	11	2,67	Tinggi

Sumber. Hasil Perhitungan Penulis (2026)

Berdasarkan hasil skoring pada Tabel 4.46, kondisi perkerasan jalan menunjukkan variasi tingkat kerentanan pada setiap segmen. Segmen 1 memperoleh nilai rata-rata sebesar 2,00 sehingga termasuk dalam kategori

sedang. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kerusakan yang terjadi masih didominasi oleh kerusakan ringan hingga sedang, seperti retak blok dan retak kulit buaya pada sebagian lokasi, sehingga fungsi pelayanan jalan masih dapat dipertahankan meskipun telah terjadi penurunan kualitas perkerasan.

Segmen 2 memperoleh nilai rata-rata sebesar 2,60 dan termasuk dalam kategori tinggi. Tingginya nilai tersebut dipengaruhi oleh ditemukannya beberapa jenis kerusakan berat, seperti lubang (*potholes*), penurunan badan jalan (*settlement*), deformasi permukaan, serta retak memanjang. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kemampuan struktur perkerasan dalam mempertahankan fungsi pelayanan jalan telah mengalami penurunan sehingga ruas jalan menjadi lebih rentan terhadap gangguan akibat bencana tanah longsor.

Sementara itu, Segmen 3 memperoleh nilai rata-rata sebesar 2,67 dan juga termasuk dalam kategori tinggi. Nilai tersebut dipengaruhi oleh dominasi kerusakan berupa retak kulit buaya, deformasi ringan, dan tambalan yang mengalami penurunan. Meskipun jumlah titik kerusakan lebih sedikit dibandingkan Segmen 2, tingkat keparahan kerusakan yang ditemukan menyebabkan segmen ini tetap memiliki tingkat kerentanan yang tinggi.

b. Kondisi Drainase Jalan

Kondisi drainase merupakan salah satu subparameter yang digunakan untuk menilai kondisi fisik jalan dalam analisis kerentanan infrastruktur terhadap tanah longsor. Drainase berfungsi mengalirkan air permukaan agar tidak menggenangi badan jalan maupun meresap secara berlebihan ke dalam tanah di sekitar lereng.

Sistem drainase yang berfungsi dengan baik berperan dalam menjaga stabilitas tanah dan mengurangi potensi kerusakan pada perkerasan jalan, sedangkan drainase yang tidak berfungsi dengan baik dapat menyebabkan genangan, meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, serta mempercepat penurunan kekuatan struktur jalan.

Tabel 4.10 Hasil Survei Kondisi Drainase Jalan PerSegmen

Segmen	STA	Sisi	Hasil Pengamatan	Kondisi
1	0+000	Kiri	Saluran masih berfungsi dengan baik dan aliran air berjalan lancar. Terdapat sedikit sedimentasi dan vegetasi di sekitar saluran namun tidak mengganggu fungsi drainase.	
		Kanan	Saluran masih ada, namun sebagian tertutup vegetasi dan material organik sehingga aliran air berpotensi terhambat	
1	0+200	Kiri	Saluran drainase masih berfungsi dengan baik, ditandai adanya aliran air yang mengalir pada saluran. Tidak ditemukan penyumbatan signifikan akibat sedimentasi, vegetasi, maupun material longsoran yang menghambat aliran air.	
		Kanan	Saluran tertutup vegetasi sehingga fungsi drainase tidak optimal	

Segmen	STA	Sisi	Hasil Pengamatan	Kondisi
2	0+400	Kiri	Saluran drainase masih terlihat dan terdapat aliran air, namun fungsi drainase terganggu akibat adanya endapan material longsoran yang menyebabkan aliran menuju bagian hilir tidak berjalan optimal..	
2		Kanan	Saluran tertutup vegetasi sehingga fungsi drainase tidak optimal	
3	0+600	Kanan	Saluran tertutup vegetasi sehingga fungsi drainase tidak optimal	

Klasifikasi dan Skoring Kondisi Drainase per Segmen

Skor kondisi drainase pada setiap segmen diperoleh berdasarkan hasil observasi lapangan terhadap kondisi saluran drainase. Penilaian dilakukan dengan mengacu pada kriteria yang telah ditetapkan pada Tabel 3.14, yaitu kondisi baik diberikan skor 1, kondisi sedang diberikan skor 2, dan kondisi buruk diberikan skor 3. Skor tersebut diberikan berdasarkan tingkat fungsi saluran drainase dalam mengalirkan air permukaan pada masing-masing segmen jalan.

Tabel 4.11 Hasil Skoring Kondisi Drainase Jalan

Segmen	STA	Kondisi Drainase	Skor
1	0+000 kiri	Saluran masih berfungsi dengan baik dan aliran air berjalan lancar. Terdapat sedikit sedimentasi dan vegetasi di sekitar saluran namun tidak mengganggu fungsi drainase.	1
	0 +000 kanan	Saluran masih ada, namun sebagian tertutup vegetasi dan material organik sehingga aliran air berpotensi terhambat	2
	0+200 Kiri	Saluran drainase masih berfungsi dengan baik, ditandai adanya aliran air yang mengalir pada saluran. Tidak ditemukan penyumbatan signifikan akibat sedimentasi, vegetasi, maupun material longsoran yang menghambat aliran air.	1
	0+200 Kanan	Saluran tertutup vegetasi sehingga fungsi drainase tidak optimal	2
2	0+400 kiri	Saluran drainase masih terlihat dan terdapat aliran air, namun fungsi drainase terganggu akibat adanya endapan material longsoran yang menyebabkan aliran menuju bagian hilir tidak berjalan optimal.	3
	0+400 kanan	Saluran tertutup vegetasi sehingga fungsi drainase tidak optimal	2
3	0+600 kanan	Saluran tertutup vegetasi sehingga fungsi drainase tidak optimal	2

Sumber. Hasil Analisis Penulis (2026)

Perhitungan Nilai Rata – rata Setiap Segmen

Segmen 1

= ————

= 1, 50

Kategori = **Rendah**

Segmen 2

= ——

= 2, 50

Kategori = **Tinggi**

Segmen 3

= –

= 2, 00

Kategori = **Sedang**

Tabel 4.12 Hasil Skoring Kondisi Drainase per Segmen

Segmen	Jumlah titik	Total Skor	Nilai rata - rata	Kelas kerentanan
1	4	10	1,50	Rendah
2	2	7	2,50	Tinggi
3	1	3	2,00	Sedang

Sumber. Hasil Perhitungan Penulis (2026)

Berdasarkan Tabel 4.51, kondisi drainase pada lokasi penelitian menunjukkan variasi tingkat fungsi di setiap segmen jalan. Hasil penilaian menunjukkan bahwa Segmen 1 memiliki kondisi drainase yang relatif baik dengan nilai rata-rata 1,50 sehingga termasuk kategori rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar saluran masih mampu mengalirkan air dengan baik meskipun terdapat sedikit sedimentasi dan vegetasi.

Pada Segmen 2**,** diperoleh nilai rata-rata 2,50 yang termasuk kategori tinggi. Kondisi tersebut disebabkan oleh adanya sedimentasi dan vegetasi yang menghambat aliran air sehingga fungsi drainase tidak berjalan secara optimal. Sementara itu, Segmen 3 memperoleh nilai rata-rata 2,00 yang

termasuk kategori sedang karena saluran masih berfungsi, namun sebagian telah tertutup vegetasi.

c. Penentuan Nilai Akhir Kondisi Fisik Jalan

Nilai akhir kondisi fisik jalan diperoleh dari hasil penggabungan skor kondisi **perkerasan jalan** dan **drainase** pada setiap segmen penelitian. Kedua subparameter tersebut merepresentasikan kondisi eksisting infrastruktur jalan yang berpengaruh terhadap tingkat kerentanan jalan terhadap tanah longsor. Nilai akhir kondisi fisik jalan dihitung menggunakan nilai rata-rata dari kedua subparameter dengan persamaan pada 2.3.

Contoh Perhitungan:

pada Segmen 1 diperoleh skor kondisi perkerasan jalan sebesar **2** dan skor kondisi drainase sebesar 1,50, sehingga nilai kondisi fisik jalan dihitung sebagai berikut.

KFJ = ——

KFJ = —

KFJ = 1,75

Nilai tersebut selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga kelas sesuai interval klasifikasi penelitian, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, sebagaimana disajikan pada Tabel dibawah ini

Tabel 4.13 Klasifikasi Nilai Kondisi Fisik Jalan

Nilai Indeks	Kategori	Skor
1,00 – 1,67	Rendah	1
>1,67 – 2,33	Sedang	2
>2,33 – 3,00	Tinggi	3

Sumber. Hasil Perhitungan Penulis berdasarkan persamaan Rumus Equal Interval

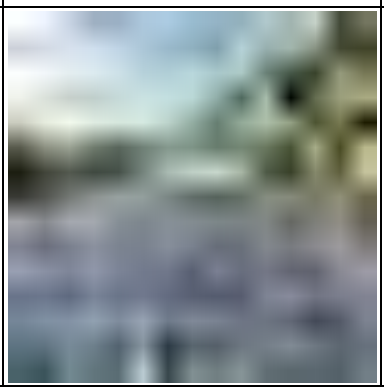
Tabel 4.14 hasil perhitungan nilai kondisi fisik jalan

Segmen	Nilai Kondisi Perkerasan	Nilai Kondisi Drainase	Nilai Kondisi Fisik Jalan	Kelas Kerentanan	Skor Akhir
1	2,00	1,50	1,75	Sedang	2
2	2,60	2,50	2,55	Tinggi	4
3	2,67	2,00	2,34	Tinggi	3

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai kondisi fisik jalan pada setiap segmen menunjukkan tingkat kerentanan yang berbeda. Perbedaan nilai tersebut dipengaruhi oleh kondisi perkerasan jalan dan drainase pada masing-masing segmen. Segmen dengan nilai kondisi fisik jalan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kondisi infrastruktur jalan relatif lebih rentan terhadap dampak tanah longsor, sedangkan segmen dengan nilai yang lebih rendah menunjukkan kondisi fisik jalan yang masih relatif baik.

2. Analisis Geometri Jalan

Geometri jalan merupakan salah satu parameter dalam analisis kerentanan yang digunakan untuk menggambarkan kondisi geometrik ruas jalan terhadap potensi dampak tanah longsor. Dalam penelitian ini, geometri jalan dinilai berdasarkan dua indikator, yaitu lebar jalan dan **le**bar bahu **jalan**. Kedua indikator tersebut diamati melalui survei lapangan pada setiap segmen jalan, kemudian diklasifikasikan dan diberikan skor sebagai dasar dalam penentuan nilai geometri jalan.

Segmen 1 STA 0+200	Segmen 2 STA 0+400	Segmen 3 STA 0+600
		

Gambar 4.13 Pengukuran Lebar Jalan dan bahu jalan Pada Setiap Segmen

a. Lebar Jalan

Lebar jalan merupakan indikator yang menunjukkan kapasitas ruang lalu lintas pada suatu ruas jalan. Jalan dengan lebar yang memadai memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengakomodasi pergerakan kendaraan, termasuk ketika sebagian badan jalan terdampak material longsor. Sebaliknya, jalan yang sempit memiliki ruang manuver yang lebih terbatas sehingga meningkatkan tingkat kerentanan terhadap gangguan lalu lintas.

Contoh Perhitungan:

Segmen 1 diperoleh skor lebar jalan sebesar 2 dan skor lebar bahu jalan sebesar 1, sehingga nilai geometri jalan dihitung sebagai berikut.

Tabel 4.15 Hasil Pengukuran Lebar Jalan

Segmen	STA	Lebar Jalan	Kategori	Skor
1	0+000	7 m	Rendah	1
	0+200	8,7 m	Rendah	1
2	0+400	8,10	Rendah	1
3	0+600	6,30	Rendah	1

Karena seluruh titik pengamatan dalam satu segmen memiliki skor yang sama, maka nilai rata-ratanya akan sama dengan skor tersebut.

Perhitungannya:

$$X = \frac{\quad}{\quad}$$

$$X = -$$

$$X = 1{,}00$$

Maka:

Nilai rata-rata = 1,00

Kategori = Rendah

Skor parameter = 1

Berdasarkan hasil pengamatan pada setiap titik survei, seluruh titik dalam segmen tersebut memperoleh skor 1. Oleh karena itu, nilai rata-rata parameter dihitung sebesar 1,00. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi parameter berada pada kategori rendah, sehingga tidak diperlukan proses reklasifikasi lebih lanjut karena seluruh titik pengamatan memiliki tingkat penilaian yang sama.

b. Lebar Bahu Jalan

Nilai lebar bahu jalan pada setiap segmen diperoleh dari hasil pengamatan di lapangan yang telah diklasifikasikan berdasarkan kriteria dan diberikan skor. Apabila dalam satu segmen terdapat lebih dari satu titik pengamatan, maka nilai lebar bahu jalan dihitung menggunakan nilai rata-rata

seluruh skor pada segmen tersebut dengan menggunakan persamaan pada tabel 3.16.

Tabel 4.16 Hasil Pengukuran dan Skoring Lebar bahu jalan

Segmen	STA	Lebar bahu jalan	Kategori	Skor
1	0+000 Kiri	2,56 m	rendah	1
	0+000 Kanan	2,20 m		1
	0+200 kiri	2,9 m		1
	0+200 kanan	3,5 m		1
2	0+400 kiri	3,6 m	rendah	1
	0+400 kanan	2,55 m		1
3	0+600 kiri	4,50 m	rendah	1
	0+600 kanan	3,15 m		1

Perhitungan nilai lebar bahu jalan dilakukan menggunakan rumus persamaan 2.3.

Sebagai contoh:

Segmen 1 dilakukan pengamatan pada empat titik dengan hasil sebagai berikut.

$$LB = \frac{\quad}{\quad}$$

$$LB = \frac{\quad}{\quad}$$

$$LB = 1$$

Berdasarkan hasil tersebut, nilai rata-rata lebar bahu jalan pada Segmen 1 sebesar 1,00, sehingga termasuk dalam kategori rendah**.**

Tabel 4.17 nilai rata – rata lebar bahu jalan pada seluruh segmen

Segmen	Jumlah titik	Jumlah skor	Perhitungan	Nilai LB	kategori
S1	4	4	–	1,00	rendah
S2	2	4	–	1,00	rendah
S3	2	4	–	1,00	rendah

Sumber. Hasil analisis, 2026

c. Penentuan Nilai Geometri jalan

Nilai geometri jalan diperoleh dari hasil penggabungan nilai rata-rata lebar jalan dan lebar bahu jalan pada setiap segmen penelitian. Kedua indikator tersebut memiliki kontribusi yang sama dalam menggambarkan kondisi geometri jalan sehingga nilai geometri jalan dihitung menggunakan nilai rata-rata dari kedua indikator.

Perhitungan nilai geometri jalan dilakukan menggunakan persamaan pada BAB II rumus 2.5

Contoh Perhitungan:

Segmen 1 diperoleh nilai rata-rata lebar jalan sebesar 1,00 dan nilai rata-rata lebar bahu jalan sebesar 1,00, sehingga nilai geometri jalan dihitung sebagai berikut.

$$GJ = \text{———}$$

$$GJ = \text{——}$$

$$GJ = 1{,}00$$

Berdasarkan hasil tersebut, nilai geometri jalan pada Segmen 1 termasuk dalam kategori rendah. Selanjutnya, hasil perhitungan nilai geometri jalan untuk seluruh segmen penelitian disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.18 hasil perhitungan nilai geometri jalan untuk seluruh segmen

Segmen	Nilai Lebar jalan (m)	Nilai lebar bahu jalan	Nilai Geometri jalan	Kategori
S1	1,00	1,00	1,00	rendah
S2	1,00	1,00	1,00	rendah
S3	1,00	1,00	1,00	rendah

3. Analisis Kepadatan Bangunan

Identifikasi dilakukan melalui interpretasi citra satelit resolusi tinggi yang kemudian diverifikasi menggunakan survei lapangan. Pengamatan difokuskan pada koridor jalan untuk mengetahui keberadaan bangunan yang berpotensi terdampak apabila terjadi bencana tanah longsor.



Sumber. ArcGIS

Gambar. 4.14 Peta Interpretasi Citra Satelit Kepadatan Bangunan di Sekitar Ruas Jalan Penelitian

Berdasarkan hasil interpretasi citra satelit dan verifikasi lapangan, kawasan penelitian didominasi oleh tutupan hutan dan lahan terbuka. Pada seluruh segmen penelitian tidak ditemukan bangunan maupun kawasan permukiman di sekitar ruas jalan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa ruas jalan yang diteliti melintasi kawasan yang masih minim aktivitas terbangun sehingga tingkat kepadatan bangunan tergolong sangat rendah.

Tabel 4.19 Hasil Identifikasi Survei Lapangan

Segmen	Jumlah Bangunan	Keterangan
S1	0	Tidak terdapat bangunan
S2	0	Tidak terdapat bangunan
S3	0	Tidak terdapat bangunan

Sumber. Hasil Interpretasi Citra dan Survei Lapangan (2026)

a. Penentuan Skor

Berdasarkan hasil identifikasi, seluruh segmen penelitian tidak memiliki bangunan di sekitar koridor jalan sehingga seluruh segmen dikategorikan memiliki tingkat kepadatan bangunan yang sangat rendah. Oleh karena itu, seluruh segmen diberikan skor 1 (Sangat Rendah) sebagai representasi bahwa tidak terdapat aset bangunan yang berpotensi mengalami kerusakan apabila terjadi tanah longsor.

Tabel 4.20 Skor Kepadatan Bangunan

Segmen	Jumlah Bangunan	Tingkat Kerentanan	Skor
S1	0	Sangat Rendah	1
S2	0	Sangat Rendah	1
S3	0	Sangat Rendah	1

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh segmen penelitian memperoleh skor yang sama, yaitu 1 (Sangat Rendah). Kondisi ini disebabkan karena tidak ditemukan bangunan maupun kawasan permukiman di sekitar ruas jalan pada seluruh segmen penelitian. Ruas jalan yang diteliti didominasi oleh kawasan hutan dan lahan terbuka sehingga tidak terdapat aset bangunan yang berpotensi mengalami kerusakan secara langsung apabila terjadi bencana tanah longsor.

Meskipun seluruh segmen memperoleh skor yang sama, hasil tersebut tetap mencerminkan kondisi eksisting di lapangan dan menunjukkan bahwa variabel kepadatan bangunan memberikan kontribusi kerentanan yang relatif kecil dibandingkan variabel kondisi fisik jalan dan geometri jalan. Dengan demikian, variabel ini tetap diikutsertakan dalam analisis sesuai kerangka penelitian dan digunakan pada proses pembobotan menggunakan metode AHP serta analisis *Weighted Overlay*.

4. Penentuan Nilai Akhir Variabel Kerentanan

Analisis variabel kerentanan bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat kerentanan infrastruktur jalan terhadap dampak tanah longsor pada lokasi penelitian. Variabel kerentanan dalam penelitian ini terdiri atas tiga parameter, yaitu kondisi fisik jalan, kepadatan bangunan, dan geometri jalan**.** Ketiga parameter tersebut dianalisis untuk mengetahui tingkat kerentanan masing-masing segmen jalan berdasarkan kondisi eksisting di lapangan.

Hasil analisis setiap parameter selanjutnya digunakan untuk memperoleh tingkat kerentanan infrastruktur jalan yang diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Pembahasan masing-masing parameter disajikan pada subbab berikut.

Nilai interval setiap kelas diperoleh menggunakan metode *Equal Interval* dengan membagi rentang nilai indeks menjadi tiga kelas yang memiliki lebar interval sama. Perhitungan interval dilakukan menggunakan persamaan rumus di 2.9

Karena penelitian ini menggunakan tiga kelas dengan rentang nilai indeks 1–3, maka diperoleh lebar interval sebagai berikut.

$$I = \frac{\quad}{\quad}$$

$$I = 0{,}67$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, klasifikasi tingkat kerentanan disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.21 Klasifikasi Tingkat Kerentanan

Rentang Nilai Indeks	Tingkat kerentanan	Skor
1,00 – 1,67	Rendah	1

> 1,67 – 2,33	Sedang	2
> 2,33 – 3,00	Tinggi	3

Contoh Perhitungan:

Segmen 1

Diketahui:

Kondisi Fisik jalan = 2

Geometri jalan = 1

Kepadatan Bangunan = 1

Maka:

NK = ——

NK = –

NK = 1,34

Berdasarkan klasifikasi interval penilaian, nilai **1,34** termasuk kategori Rendah.

Segmen 2

Diketahui:

Kondisi Fisik jalan = 4

Geometri jalan = 1

Kepadatan Bangunan = 1

Maka:

NK = ——

NK = –

NK = 2,00

Berdasarkan klasifikasi interval penilaian, nilai **2,00** termasuk kategori Sedang.

Segmen 3

Diketahui:

Kondisi Fisik jalan = 3

Geometri jalan = 1

Kepadatan Bangunan = 1

Maka:

NK = ——

NK = –

NK = 1,67

Berdasarkan klasifikasi interval penilaian, nilai 1,67 termasuk kategori rendah**.**

Berdasarkan hasil perhitungan nilai rata-rata ketiga indikator, diperoleh tingkat kerentanan yang berbeda pada setiap segmen penelitian. Nilai akhir tersebut mencerminkan kondisi kerentanan ruas jalan terhadap potensi dampak tanah longsor berdasarkan aspek kondisi fisik jalan, geometri jalan, dan kepadatan bangunan.

Tabel 4.22 Rekapitulasi Nilai Akhir Variabel Kerentanan

Segmen	**Kondisi Fisik jalan**	**Geometri Jalan**	**Kepadata bangunan**	**Nilai rata - rata**	**Kategori**
S1	2	1	1	1,34	Rendah
S2	4	1	1	2,00	sedang
S3	3	1	1	1,67	rendah

4.4 Analisis Variabel Keterpaparan

Variabel keterpaparan digunakan untuk menggambarkan tingkat paparan infrastruktur jalan terhadap potensi dampak tanah longsor berdasarkan intensitas penggunaan jalan dan aktivitas di sekitar ruas jalan. Pada penelitian ini, analisis keterpaparan disusun berdasarkan tiga parameter, yaitu Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR), kepadatan penduduk, dan aktivitas sosial ekonomi. Kedua parameter tersebut dianalisis berdasarkan hasil survei lapangan dan selanjutnya diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi**.**

1. Analisis Lalu Lintas Harian rata – rata (LHR)

Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) digunakan sebagai parameter untuk menggambarkan tingkat intensitas penggunaan ruas jalan pada lokasi penelitian. Semakin tinggi volume kendaraan yang melintasi suatu ruas jalan,

maka semakin besar tingkat keterpaparan pengguna jalan apabila terjadi tanah longsor. Oleh karena itu, nilai LHR digunakan sebagai salah satu dasar dalam penilaian variabel keterpaparan.

Pengumpulan data lalu lintas dilakukan melalui survei pencacahan kendaraan selama tiga hari berturut-turut pada periode pagi, siang, dan sore. Kendaraan yang diamati meliputi sepeda motor (*motorcycle*), kendaraan ringan (*light vehicle*), dan kendaraan berat (*heavy vehicle*).

a. Volume Lalu Lintas Harian pada Ruas Jalan Penelitian, Hari ke 1

Pagi

Waktu	Arah 1	Arah 2
MC	74	67
LV	77	68
HV	25	17
Jumlah	176	152

Maka total kendaraan pagi hari = Arah 1 + Arah 2
= 176 + 152
= 328 Kendaraan

Siang

Waktu	Arah 1	Arah 2
MC	82	52
LV	44	33
HV	9	11
Jumlah	135	96

Maka total kendaraan siang hari = Arah 1 + Arah 2
= 135 + 96
= 231 Kendaraan

Sore

Waktu	Arah 1	Arah 2
MC	105	57
LV	91	70

HV	18	18
Jumlah	214	145

Maka total kendaraan sore hari = Arah 1 + Arah 2

= 214 + 145

= 359 Kendaraan

Jumlah seluruh periode: Pagi + Siang + Sore = 328 + 231 + 359

= 918 Kendaraan

b. Volume Lalu Lintas Harian pada Ruas Jalan Penelitian, Hari ke 2

Pagi

Waktu	Arah 1	Arah 2
MC	120	78
LV	75	67
HV	41	24
Jumlah	236	169

Maka total kendaraan pagi hari = Arah 1 + Arah 2

= 236 + 169

= 405 Kendaraan

Siang

Waktu	Arah 1	Arah 2
MC	72	40
LV	58	44
HV	25	10
Jumlah	155	94

Maka total kendaraan siang hari = Arah 1 + Arah 2

= 155 + 94

= 249 Kendaraan

Sore

Waktu	Arah 1	Arah 2
MC	94	77
LV	54	88
HV	20	32

Jumlah	168	197

Maka total kendaraan sore hari = Arah 1 + Arah 2
= 168 + 197
= 365 Kendaraan

Jumlah seluruh periode: Pagi + Siang + Sore = 405 + 249 + 365
= 1.019 Kendaraan

c. Volume Lalu Lintas Harian pada Ruas Jalan Penelitian, Hari ke 3

Pagi

Waktu	Arah 1	Arah 2
MC	66	57
LV	64	71
HV	19	7
Jumlah	149	135

Maka total kendaraan pagi hari = Arah 1 + Arah 2
= 149 + 135
= 284 Kendaraan

Siang

Waktu	Arah 1	Arah 2
MC	63	46
LV	53	41
HV	14	17
Jumlah	130	104

Maka total kendaraan siang hari = Arah 1 + Arah 2
= 130 + 104
= 234 Kendaraan

Sore

Waktu	Arah 1	Arah 2
MC	100	87
LV	50	53
HV	10	15
Jumlah	160	155

Maka total kendaraan sore hari = Arah 1 + Arah 2

= 160 + 155

= 833 Kendaraan

Jumlah seluruh periode: Pagi + Siang + Sore = 284 + 234 + 833

= 833 Kendaraan

d. Rekap Data Survei

Hari 1

Waktu	Arah 1	Arah 2	Total
Pagi	176	152	328
Siang	135	96	231
Malam	214	145	359
Jumlah	**525**	**393**	**918**

Hari 2

Waktu	Arah 1	Arah 2	Total
Pagi	236	169	405
Siang	155	94	249
Malam	168	197	365
Jumlah	**559**	**460**	**1.019**

Hari 3

Waktu	Arah 1	Arah 2	Total
Pagi	149	135	284
Siang	130	104	234
Malam	160	155	315
Jumlah	**439**	**394**	**833**

Setelah dilakukan pencacahan kendaraan pada tiga hari pengamatan, diperoleh total volume kendaraan masing-masing hari sebagaimana disajikan ditabel berikut.

Tabel 4.23 Rekapitulasi Volume Kendaraan

Hari	**Total Kendaraan**
Hari 1	918
Hari 2	1.019

Hari 3	833
Jumlah	**2.770**

Berdasarkan hasil survei, volume kendaraan selama tiga hari pengamatan menunjukkan variasi pada setiap hari. Volume kendaraan tertinggi terjadi pada hari kedua dengan jumlah 1.019 kendaraan, sedangkan volume kendaraan terendah terjadi pada hari ketiga sebanyak 833 kendaraan**.** Secara keseluruhan, total volume kendaraan yang diperoleh selama tiga hari pengamatan adalah 2.770 kendaraan**.**

e. Perhitungan rata – rata Volume Kendaraan

Setelah diperoleh volume kendaraan selama tiga hari pengamatan, dilakukan perhitungan rata-rata volume kendaraan menggunakan persamaan pada 2.6. Sehingga diperoleh:

$$Qr = \text{————————}$$

$$Qr = \text{——}$$

$$Qr = 923{,}33 \text{ kendaraan/6 jam}$$

Nilai tersebut dibulatkan menjadi: Qr = 923 Kendaraan/6 jam

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh rata-rata volume kendaraan sebesar 923 kendaraan selama enam jam pengamatan. Nilai tersebut menunjukkan rata-rata jumlah kendaraan yang melintasi ruas jalan penelitian selama periode survei dan menjadi dasar dalam proses konversi menjadi LHR 24 jam

f. Konversi Volume Survei Menjadi LHR 24 jam

Hasil survei lalu lintas pada penelitian ini diperoleh melalui pencacahan kendaraan selama 6 jam yang meliputi periode pagi, siang, dan sore. Oleh karena itu, volume kendaraan yang diperoleh belum mencerminkan lalu lintas selama 24 jam.

Untuk memperoleh estimasi Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) 24 jam**,** dilakukan konversi menggunakan faktor koreksi sebesar 1,54**.** Faktor ini digunakan karena volume lalu lintas pada periode survei 6 jam umumnya mewakili sekitar 65% dari volume lalu lintas harian pada ruas jalan provinsi/kabupaten, sehingga faktor konversinya adalah:

$= \frac{}{} = 1{,}54$

Penggunaan faktor tersebut telah digunakan dalam penelitian yang mengacu pada data Bina Marga dan Dinas Perhubungan untuk ruas jalan provinsi/kabupaten. Menggunakan persamaan pada 2.7.

Perhitungan

Diket:

= 923,33 kendaraan

Maka:

$= 923{,}33 \times 1{,}54$

$= 1.421{,}93$

Dibulatkan menjadi, = 1.422 Kendaraan/Hari

Tabel 4.24 Hasil Konversi LHR

Parameter	Nilai
Rata – rata volume survey (6 jam)	923 kendaraan
Faktor Konversi	1,54
LHR 24 jam	1.422 kendaraan/hari

Sumber: Hasil perhitungan penulis (2026) berdasarkan faktor konversi yang mengacu pada data Bina Marga dan Dinas Perhubungan

Berdasarkan hasil perhitungan, rata-rata volume kendaraan selama enam jam pengamatan adalah 923 kendaraan. Setelah dilakukan konversi menggunakan faktor koreksi 1,54**,** diperoleh estimasi Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) sebesar 1.422 kendaraan per hari**.** Nilai tersebut digunakan sebagai indikator keterpaparan karena mencerminkan intensitas penggunaan ruas jalan oleh ke ndaraan. Semakin tinggi nilai LHR, semakin besar jumlah pengguna jalan yang berpotensi terdampak apabila terjadi gangguan fungsi jalan akibat bencana tanah longsor.

g. Klasifikasi dan Skoring LHR

Nilai LHR selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga tingkat keterpaparan, yaitu **rendah, sedang, dan tinggi**, agar konsisten dengan sistem klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4.25 Klasifikasi dan Skoring LHR

LHR (kendaraan/hari)	Tingkat keterpaparan	Skor
< 2.000	Rendah	1
2.000 - <10.000	Sedang	2
≥ 10.000	Tinggi	3

Sumber. Diadaptasi dari Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI), Kementrian PUPR (2023) dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997) untuk keperluan analisis skoring penelitian.

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa nilai 1.422 kendaraan/hari berada pada rentang kurang dari 2.000 kendaraan/hari, sehingga termasuk dalam kategori Sangat Rendah dengan skor 1. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas penggunaan ruas jalan pada lokasi penelitian masih relatif rendah. Dengan demikian, jumlah pengguna jalan yang berpotensi terdampak apabila terjadi bencana tanah longsor juga relatif kecil dibandingkan ruas jalan dengan volume lalu lintas yang lebih tinggi.

Tabel 4.26 Hasil Skoring LHR

Parameter	Nilai
Volume rata – rata Survei (6jam)	923 Kendaraan
Faktor Konversi	1,54
LHR 24 jam	1.422 Kendaraan/hari
kategori	rendah
Skor	1

2. Analisis Kepadatan Penduduk

Kepadatan penduduk merupakan salah satu indikator keterpaparan yang digunakan untuk menggambarkan jumlah penduduk yang berpotensi terdampak apabila terjadi bencana tanah longsor pada ruas jalan penelitian. Semakin tinggi kepadatan penduduk di sekitar ruas jalan, semakin besar jumlah masyarakat yang berpotensi mengalami dampak akibat terganggunya fungsi jalan.

Pada penelitian ini, kepadatan penduduk dianalisis berdasarkan keberadaan kawasan permukiman yang diidentifikasi melalui interpretasi citra satelit dan diverifikasi melalui survei lapangan. Selain itu, informasi

pendukung dapat dibandingkan dengan data administrasi wilayah apabila tersedia untuk memastikan kondisi eksisting di lokasi penelitian.

Berdasarkan hasil interpretasi citra satelit pada gambar 4.13 dan survei lapangan, tidak ditemukan kawasan permukiman maupun bangunan tempat tinggal pada seluruh segmen jalan yang menjadi lokasi penelitian. Ruas jalan penelitian melintasi kawasan hutan dan lahan terbuka sehingga tidak terdapat penduduk yang menetap pada koridor jalan yang di amati.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tingkat keterpaparan penduduk terhadap bencana tanah longsor pada lokasi penelitian relatif sangat rendah karena tidak terdapat konsentrasi penduduk yang berpotensi terdampak secara langsung apabila terjadi longsor.

Tabel 4.27 Hasil Analisis Kepadatan Penduduk

Segmen	Kondisi Permukiman	Tingkat Keterpaparan Penduduk	Skor
S1	Tidak Terdapat Permukiman	Rendah	1
S2	Tidak Terdapat Permukiman	Rendah	1
S3	Tidak Terdapat Permukiman	Rendah	1

Sumber. Hasil Interpretasi citra satelit dan survey lapangan (2026)

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh segmen penelitian tidak memiliki kawasan permukiman sehingga tidak terdapat penduduk yang menetap di sekitar ruas jalan. Oleh karena itu, tingkat keterpaparan penduduk diklasifikasikan ke dalam kategori Rendah dengan skor 1 pada seluruh segmen.

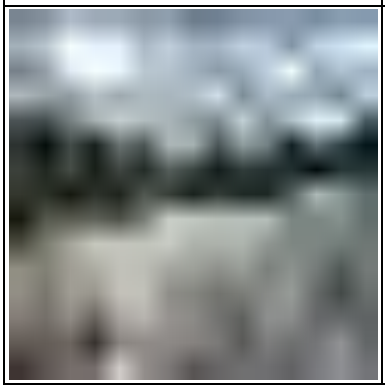
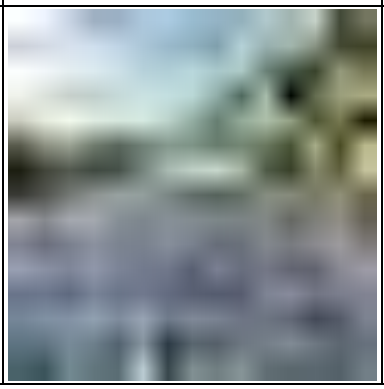
Meskipun demikian, kondisi tersebut tidak berarti ruas jalan tidak memiliki peranan penting**.** Ruas jalan yang diteliti merupakan jalan lintas provinsi yang berfungsi sebagai jalur penghubung antarwilayah. Dengan demikian, apabila terjadi tanah longsor, dampak utama yang ditimbulkan lebih mengarah pada terganggunya mobilitas pengguna jalan dan distribusi

barang serta jasa, dibandingkan dampak langsung terhadap penduduk yang tinggal di sekitar lokasi penelitian.

3. Analisis Aktivitas Sosial Ekonomi

Aktivitas sosial ekonomi merupakan salah satu indikator keterpaparan yang digunakan untuk menggambarkan tingkat ketergantungan masyarakat terhadap fungsi ruas jalan dalam mendukung kegiatan sosial maupun ekonomi. Semakin tinggi aktivitas sosial ekonomi pada suatu ruas jalan, semakin besar potensi dampak yang ditimbulkan apabila ruas jalan tersebut mengalami gangguan akibat bencana tanah longsor. Sebaliknya, apabila aktivitas sosial ekonomi di sekitar ruas jalan rendah, maka tingkat keterpaparan yang ditimbulkan juga relatif rendah.

Pada penelitian ini, identifikasi aktivitas sosial ekonomi dilakukan melalui survei lapangan dengan mengamati keberadaan kawasan permukiman, fasilitas pendidikan, fasilitas kesehatan, pusat perdagangan, tempat ibadah, perkantoran, maupun fasilitas umum lainnya yang berada di sepanjang koridor jalan penelitian. Hasil identifikasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam penentuan tingkat keterpaparan aktivitas sosial ekonomi pada setiap segmen jalan.

Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3
		

Gambar 4.15 Dokumentasi Kondisi Sekitar Ruas jalan

Berdasarkan hasil survei lapangan pada seluruh segmen penelitian, tidak ditemukan kawasan permukiman maupun fasilitas yang menjadi pusat aktivitas sosial ekonomi masyarakat. Koridor jalan yang menjadi lokasi penelitian didominasi oleh kawasan hutan dan lahan terbuka sehingga tidak

terdapat sekolah, pasar, pusat perdagangan, fasilitas kesehatan, perkantoran, maupun fasilitas umum lainnya di dalam segmen penelitian..

Meskipun demikian, hasil observasi menunjukkan bahwa ruas jalan penelitian merupakan bagian dari jalan lintas provinsi yang menghubungkan kawasan permukiman dengan kawasan pendidikan yang berada di luar segmen penelitian. Dengan demikian, aktivitas sosial ekonomi tidak berlangsung secara langsung pada koridor jalan yang diteliti, tetapi ruas jalan tersebut tetap dimanfaatkan sebagai jalur mobilitas masyarakat menuju kawasan permukiman dan fasilitas pendidikan.

Tabel 4.28 Hasil Identifikasi Aktivitas Sosial Ekonomi

Segmen	Hasil Pengamatan	Kategori	Skor
S1	Tidak terdapat fasilitas sosial ekonomi pada segmen penilitian	Sangat Rendah	1
S2	Tidak terdapat fasilitas sosial ekonomi pada segmen penilitian	Sangat Rendah	1
S3	Tidak terdapat fasilitas sosial ekonomi pada segmen penilitian	Sangat Rendah	1

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh segmen penelitian memiliki tingkat aktivitas sosial ekonomi yang tergolong sangat rendah. Kondisi tersebut disebabkan oleh tidak ditemukannya kawasan permukiman maupun fasilitas pelayanan masyarakat di sepanjang koridor jalan penelitian. Dengan demikian, apabila terjadi bencana tanah longsor, dampak langsung terhadap aktivitas sosial ekonomi pada lokasi penelitian relatif kecil karena tidak terdapat pusat-pusat kegiatan masyarakat yang berada di dalam segmen penelitian.

Namun demikian, hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa ruas jalan yang diteliti memiliki fungsi strategis sebagai jalan lintas provinsi yang menghubungkan kawasan permukiman dengan kawasan pendidikan yang berada di luar segmen penelitian. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun

aktivitas sosial ekonomi lokal pada segmen penelitian sangat rendah, ruas jalan tersebut tetap berperan sebagai koridor mobilitas masyarakat menuju pusat-pusat kegiatan di luar lokasi penelitian.

Apabila terjadi tanah longsor yang menyebabkan terganggunya fungsi ruas jalan, dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa hambatan terhadap mobilitas kendaraan yang melintas, tetapi juga berpotensi mengganggu akses masyarakat menuju kawasan permukiman dan fasilitas pendidikan yang berada di luar segmen penelitian. Oleh karena itu, fungsi ruas jalan sebagai jaringan transportasi antarwilayah tetap memiliki peranan penting dalam mendukung kelancaran aktivitas sosial ekonomi regional.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa tingkat aktivitas sosial ekonomi pada koridor jalan penelitian dikategorikan sangat rendah berdasarkan kondisi eksisting di dalam segmen penelitian. Akan tetapi, secara fungsional ruas jalan tetap memiliki nilai strategis sebagai penghubung antarwilayah sehingga keberlangsungan fungsi jalan perlu dipertahankan untuk menjamin kelancaran mobilitas masyarakat dan distribusi pelayanan antarwilayah.

4. Penentuan Nilai Akhir Variabel Keterpaparan

Setelah dilakukan analisis terhadap masing-masing indikator keterpaparan, yaitu Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR), kepadatan penduduk, dan aktivitas sosial ekonomi, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai akhir variabel keterpaparan. Nilai akhir diperoleh dengan menghitung rata-rata skor dari ketiga indikator tersebut sehingga menghasilkan satu nilai yang mewakili tingkat keterpaparan pada lokasi penelitian.

Karena hasil analisis variabel keterparan adalah:

LHR = 1

Kepadatan penduduk 1

Aktivitas Sosial ekonomi = 1

Maka:

NK = ——

NK = –

Nk = 1, 00

Sehingga nilai akhir variabel keterpaparan adalah 1,34.

Tabel 4.29 Rekapitulasi Analisis Keterpaparan

Indikator	Skor
LHR	1
Kepadatan Penduduk	1
Aktivitas Sosial Ekonomi	1
Nilai Rata - rata	1,00
Kategori	Rendah

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai akhir variabel keterpaparan sebesar 1,34 yang termasuk dalam kategori Sangat Rendah. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tingkat keterpaparan pada lokasi penelitian relatif rendah karena tidak terdapat permukiman maupun aktivitas sosial ekonomi pada koridor jalan yang diteliti, serta volume lalu lintas harian juga masih berada pada kategori rendah. Meskipun demikian, ruas jalan penelitian merupakan bagian dari jaringan jalan provinsi yang berfungsi menghubungkan kawasan permukiman dan kawasan pendidikan di luar segmen penelitian. Oleh karena itu, apabila terjadi bencana tanah longsor, dampak terhadap fungsi jaringan transportasi regional tetap perlu menjadi perhatian meskipun keterpaparan langsung pada lokasi penelitian tergolong rendah.

4.5 Analisis Pembobotan Faktor Risiko Tanah Longsor Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Analisis pembobotan faktor risiko tanah longsor dilakukan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk memperoleh tingkat kepentingan relatif dari setiap variabel yang digunakan dalam penelitian. Metode AHP dipilih karena mampu mengubah penilaian subjektif para ahli menjadi nilai bobot kuantitatif melalui proses perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Bobot yang dihasilkan

selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS).

Pada penelitian ini, pembobotan dilakukan terhadap tiga kelompok variabel, yaitu bahaya (hazard)**,** kerentanan (vulnerability), dan keterpaparan (exposure)**.** Variabel bahaya terdiri atas enam parameter, yaitu kemiringan lereng, jenis tanah, geologi, curah hujan, tutupan lahan, dan elevasi. Variabel kerentanan terdiri atas kondisi fisik jalan, geometri jalan, dan kepadatan bangunan, sedangkan variabel keterpaparan terdiri atas Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) dan aktivitas sosial ekonomi.

Penilaian dilakukan oleh lima responden ahli yang berasal dari instansi pemerintah dan akademisi yang memiliki kompetensi di bidang kebencanaan, geoteknik, transportasi, dan perencanaan wilayah. Masing-masing responden mengisi kuesioner perbandingan berpasangan menggunakan skala fundamental Saaty 1–9 untuk menilai tingkat kepentingan relatif antarparameter.

4.5.1 Identitas dan Jumlah Responden Ahli

Pemilihan responden dilakukan secara purposive sampling, yaitu berdasarkan pertimbangan bahwa responden memiliki kompetensi, pengalaman, dan pemahaman yang berkaitan dengan bidang kebencanaan, geoteknik, transportasi jalan, maupun perencanaan wilayah. Pendekatan ini digunakan untuk memastikan bahwa penilaian yang diberikan dapat merepresentasikan kondisi dan karakteristik variabel yang dianalisis.

Dalam penelitian ini, jumlah responden ahli yang terlibat sebanyak Lima orang yang berasal dari berbagai instansi dan latar belakang keilmuan yang relevan dengan kajian risiko tanah longsor. Masing-masing responden diminta untuk memberikan penilaian tingkat kepentingan antarvariabel menggunakan skala perbandingan Saaty 1–9. Hasil penilaian dari seluruh responden kemudian digabungkan menggunakan metode *Geometric Mean* untuk memperoleh satu matriks perbandingan kelompok yang mewakili pendapat kolektif responden.

Tabel 4.30 Identitas Responden Ahli

Nama	Instansi	Jabatan/Bidang Keahlian	Kode Responden
Andika Malik	DPUPR&PERKIM Prov.Kaltara	Penelaah Teknis Kebijakan/Ahli GIS	R1
Wahyu Atiq Widanto, M.T	BAPPEDA Prov.Kaltara	Peneliti Ahli Pertama/Perencanaan Wilayah & Kota	R2
Intania Armin Djamil	DLH Prov. Kaltara	Penelaah Teknis Kebijakan/Lingkungan Hidup	R3
Supranoto, S.T	BPBD Kab. Bulungan	Kepala Seksi kedaruratan dan Logistik/ Kedaruratan dan Logistik (KL)	R4
Ir. Fuad Harwadi, S.T., M.T	FT-UBT	Dosen/Geoteknik	R5

4.5.2 Pembobotan Variabel Bahaya PerResponden Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process*

Berdasarkan hasil pengisian kuesioner, setiap responden menghasilkan matriks perbandingan berpasangan berukuran 6 × 6 yang memuat penilaian tingkat kepentingan relatif antarparameter bahaya, yaitu kemiringan lereng, jenis tanah, geologi, curah hujan, tutupan lahan, dan elevasi. Penilaian dilakukan secara independen sehingga setiap responden menghasilkan matriks yang berbeda sesuai dengan pengalaman dan pertimbangan profesional masing-masing.

Tahapan awal dalam penerapan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah menyusun matriks perbandingan berpasangan berdasarkan hasil kuesioner yang telah diisi oleh responden ahli. Matriks ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepentingan relatif antar kriteria yang dianalisis dengan

menggunakan skala fundamental Saaty. Pada penelitian ini, penilaian dilakukan oleh lima responden terhadap enam parameter, yaitu

Keterangan:

KL: Kemiringan Lereng

JT: Jenis Tanah

G: Geologi

CH: Curah Hujan

TL: Tutupan Lahan

E: Elevasi

Hasil penilaian masing-masing responden kemudian disusun dalam bentuk matriks perbandingan berpasangan. Matriks tersebut menjadi dasar dalam proses perhitungan bobot prioritas setiap parameter serta pengujian konsistensi penilaian sebelum digunakan pada analisis selanjutnya.

Tabel 4.31 Matriks Perbandingan Berpasangan Lima Responden

Responden 1

Kriteria	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	1	3	3	3	3	3
jt	1/3	1	1	2	2	1
g	1/3	1	1	2	2	1
ch	1/3	1/2	1/2	1	1	1
tl	1/3	1/2	1/2	1	1	1/2
e	1/3	1	1	1	2	1

Responden 2

Kriteria	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	1	3	2	5	7	7
jt	1/3	1	1/3	3	5	5
g	1/2	3	1	3	5	5
ch	1/5	1/3	1/3	1	3	3
tl	1/7	1/5	1/5	1/3	1	2
e	1/7	1/5	1/5	1/3	1/2	1

Responden 3

Kriteria	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	1	5	1/3	2	1/2	5
jt	1/5	1	1/5	1/3	1/2	5
g	3	5	1	3	5	5
ch	1/2	3	1/3	1	1	5
tl	2	2	1/5	1	1	3
e	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1

Responden 4

Kriteria	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	1	5	1/2	1/4	1	1/8
jt	1/5	1	7	1/6	1	5
g	2	1/7	1	3	3	5
ch	4	6	1/3	1	1/6	1/5
tl	1	1	1/3	6	1	7
e	8	1/5	1/5	1/5	1/7	1

Responden 5

Kriteria	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	1	1/9	1/5	1	5	4
jt	9	1	5	1	7	5
g	5	1/5	1	2	4	5
ch	1	1	1/2	1	7	7
tl	1/5	1/7	1/4	1/7	1	5
e	1/4	1/5	1/5	1/7	1/5	1

1. Perhitungan Bobot Eigen dan Bobot Prioritas

Setelah matriks perbandingan berpasangan diperoleh dari masing-masing responden, langkah selanjutnya adalah menghitung bobot setiap

parameter menggunakan metode AHP. Proses pembobotan dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu menghitung jumlah setiap kolom matriks, melakukan normalisasi matriks, menghitung bobot eigen (*eigen vector*), dan menentukan bobot prioritas masing-masing parameter.

Normalisasi matriks dilakukan dengan membagi setiap elemen matriks terhadap jumlah kolom yang bersesuaian sehingga diperoleh matriks ternormalisasi. Selanjutnya, bobot eigen diperoleh dari rata-rata nilai pada setiap baris matriks ternormalisasi. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kepentingan relatif setiap parameter terhadap tujuan penelitian.

Langkah 1

Tahap berikutnya adalah menghitung jumlah setiap kolom pada matriks perbandingan berpasangan. Nilai ini digunakan sebagai penyebut dalam proses normalisasi matriks.

Responden 1

Parameter	**Perhitungan Jumlah Kolom**	**Hasil**
Kemiringan Lereng	1+ – + – + – + – + –	2,67
Jenis Tanah	3 + 1 + 1 + – + – +1	7,00
Geologi	3 + 1 + 1 + – + – +1	7,00
Curah Hujan	3 + 2 + 2 +1 + 1 +1	10,00
Tutupan Lahan	3 + 2 + 2 + 1 + 1 + 2	11,00
Elevasi	3 +1 +1 + 1 + – + 1	7,50

Tabel 4.32 Jumlah Kolom Matriks

Responden 1

Kriteria	**kl**	**jt**	**g**	**ch**	**tl**	**e**
Jumlah	2,67	7,00	7,00	10,00	11,00	7,50

Responden 2

Kriteria	**kl**	**jt**	**g**	**ch**	**tl**	**e**
Jumlah	2,32	7,73	4,07	12,67	21,50	23,00

Responden 3

Kriteria	kl	jt	g	ch	tl	e
Jumlah	6,90	13,53	2,27	7,53	8,33	24,00

Responden 4

Kriteria	kl	jt	g	ch	tl	e
Jumlah	16,20	13,34	9,37	10,62	6,31	18,33

Responden 5

Kriteria	kl	jt	g	ch	tl	e
Jumlah	16,45	2,65397	7,15	5,28571	24,2	27

Langkah 2

Normalisasi dilakukan dengan membagi setiap elemen matriks terhadap jumlah kolom yang bersesuaian sehingga diperoleh nilai yang memiliki skala yang sama.

Langkah – Langkah Perhitungan:

Salah satu contoh:

Responden 1

Normalisasi	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	——	——	——	——	——	——
jt	——	——	——	——	——	——
g	——	——	——	——	——	——
ch	——	——	——	——	——	——
tl	——	——	——	——	——	——
e	——	——	——	——	——	——

Hasil Normalisasi	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	0,38	0,43	0,43	0,30	0,27	0,40
jt	0,13	0,14	0,14	0,20	0,18	0,13
g	0,13	0,14	0,14	0,20	0,18	0,13
ch	0,13	0,07	0,07	0,10	0,09	0,13
tl	0,13	0,07	0,07	0,10	0,09	0,07
e	0,13	0,14	0,14	0,10	0,18	0,13

Tabel 4.33 Normalisasi Matriks Variabel Bahaya

Responden 2

Normalisasi	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	0,43	0,39	0,49	0,39	0,33	0,30
jt	0,14	0,13	0,08	0,24	0,23	0,22
g	0,22	0,39	0,25	0,24	0,23	0,22
ch	0,09	0,04	0,08	0,08	0,14	0,13
tl	0,06	0,03	0,05	0,03	0,05	0,09
e	0,06	0,03	0,05	0,03	0,02	0,04

Responden 3

Normalisasi	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	0,14	0,37	0,15	0,27	0,06	0,21
jt	0,03	0,07	0,09	0,04	0,06	0,21
g	0,43	0,37	0,44	0,40	0,60	0,21
ch	0,07	0,02	0,15	0,13	0,12	0,21
tl	0,29	0,15	0,09	0,13	0,12	0,13
e	0,03	0,01	0,09	0,03	0,04	0,04

Responden 4

Normalisasi	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	0,06	0,37	0,05	0,02	0,16	0,01
jt	0,01	0,07	0,75	0,02	0,16	0,27
g	0,12	0,01	0,11	0,28	0,48	0,27

ch	0,25	0,45	0,04	0,09	0,03	0,01
tl	0,06	0,07	0,04	0,57	0,16	0,38
e	0,49	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05

Responden 5

Normalisasi	kl	jt	g	ch	tl	e
kl	0,06	0,04	0,03	0,19	0,21	0,15
jt	0,55	0,38	0,70	0,19	0,29	0,19
g	0,30	0,08	0,14	0,38	0,17	0,19
ch	0,06	0,38	0,07	0,19	0,29	0,26
tl	0,01	0,05	0,03	0,03	0,04	0,19
e	0,02	0,08	0,03	0,03	0,01	0,04

Langkah 3

Setelah proses normalisasi matriks selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah menghitung nilai rata-rata pada setiap baris matriks normalisasi. Nilai rata-rata tersebut diperoleh dengan menjumlahkan seluruh nilai normalisasi pada masing-masing baris, kemudian membaginya dengan jumlah parameter yang dibandingkan. Rumus Perhitungan Rata – rata disajikan pada persamaan di 2.9

Contoh Perhitungan:

Misalkan hasil normalisasi pada baris Kemiringan Lereng (kl) di responden 1 sebagai berikut.

Parameter	Nilai Normalisasi
kl	0,38
jt	0,43
g	0,43
ch	0,30
tl	0,27
e	0,40
Nilai Rata - rata	2,20

Maka jumlah nilai Rata – rata tiap normalisasi pada baris tersebut adalah

0,38 + 0,43 + 0,43 + 0,30 + 0,27 + 0,40 = 2,20

Tabel 4.34 Nilai Rata – Rata Setiap baris Matriks Normalisasi

Responden 1

Normalisasi	**kl**	**jt**	**g**	**ch**	**tl**	**e**	**Rata-rata**
kl	0,38	0,43	0,43	0,30	0,27	0,40	2,20
jt	0,13	0,14	0,14	0,20	0,18	0,13	0,93
g	0,13	0,14	0,14	0,20	0,18	0,13	0,93
ch	0,13	0,07	0,07	0,10	0,09	0,13	0,59
tl	0,13	0,07	0,07	0,10	0,09	0,07	0,53
e	0,13	0,14	0,14	0,10	0,18	0,13	0,83

Responden 2

Normalisasi	**kl**	**jt**	**g**	**ch**	**tl**	**e**	**Rata-rata**
kl	0,43	0,39	0,49	0,39	0,33	0,30	2,34
jt	0,14	0,13	0,08	0,24	0,23	0,22	1,04
g	0,22	0,39	0,25	0,24	0,23	0,22	1,54
ch	0,09	0,04	0,08	0,08	0,14	0,13	0,56
tl	0,06	0,03	0,05	0,03	0,05	0,09	0,30
e	0,06	0,03	0,05	0,03	0,02	0,04	0,23

Responden 3

Normalisasi	**kl**	**jt**	**g**	**ch**	**tl**	**e**	**Rata-rata**
kl	0,14	0,37	0,15	0,27	0,06	0,21	1,20
jt	0,03	0,07	0,09	0,04	0,06	0,21	0,50
g	0,43	0,37	0,44	0,40	0,60	0,21	2,45
ch	0,07	0,02	0,15	0,13	0,12	0,21	0,71
tl	0,29	0,15	0,09	0,13	0,12	0,13	0,90
e	0,03	0,01	0,09	0,03	0,04	0,04	0,24

Responden 4

Normalisasi	kl	jt	g	ch	tl	e	Rata-rata
kl	0,06	0,37	0,05	0,02	0,16	0,01	0,68
jt	0,01	0,07	0,75	0,02	0,16	0,27	1,28
g	0,12	0,01	0,11	0,28	0,48	0,27	1,27
ch	0,25	0,45	0,04	0,09	0,03	0,01	0,86
tl	0,06	0,07	0,04	0,57	0,16	0,38	1,28
e	0,49	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,63

Responden 5

Normalisasi	kl	jt	g	ch	tl	e	Rata - rata
kl	0,06	0,04	0,03	0,19	0,21	0,15	0,67
jt	0,55	0,38	0,70	0,19	0,29	0,19	2,29
g	0,30	0,08	0,14	0,38	0,17	0,19	1,25
ch	0,06	0,38	0,07	0,19	0,29	0,26	1,25
tl	0,01	0,05	0,03	0,03	0,04	0,19	0,35
e	0,02	0,08	0,03	0,03	0,01	0,04	0,19

Langkah 4

Bobot eigen diperoleh dari rata-rata nilai pada setiap baris matriks normalisasi. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing parameter terhadap tujuan penelitian. Semakin besar bobot eigen yang diperoleh, semakin besar pula pengaruh parameter tersebut terhadap potensi tanah longsor.

Contoh Perhitungan

Parameter	Jumlah nilai baris	Jumlah parameter	Bobot eigen
Kemiringan Lereng	2,20	6	0,37

Perhitungan:

$$= \frac{}{} = 0{,}37$$

Perhitungan yang sama dilakukan terhadap parameter Jenis Tanah (jt), Geologi (g), Curah Hujan (ch), Tutupan Lahan (tl), dan Elevasi (e**)** sehingga diperoleh bobot eigen masing-masing parameter. Seluruh hasil perhitungan tersebut kemudian disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4. 35 Bobot Eigen (Eigen Vector)

Responden 1

parameter	Bobot Eigen	Presentase
Kemiringan lereng	0,37	37%
Jenis tanah	0,15	15%
Geologi	0,15	15%
Curah hujan	0,10	10%
Tutupan lahan	0,09	9%
elevasi	0,14	14%

Responden 2

parameter	Bobot Eigen	Presentase
Kemiringan lereng	0,39	39%
Jenis tanah	0,17	17%
Geologi	0,26	26%
Curah hujan	0,09	9%
Tutupan lahan	0,05	5%
elevasi	0,04	4%

Responden 3

parameter	Bobot Eigen	Presentase
Kemiringan lereng	0,20	20%
Jenis tanah	0,08	8%
Geologi	0,41	41%
Curah hujan	0,12	12%
Tutupan lahan	0,15	15%

elevasi	0,04	4%

Responden 4

parameter	Bobot Eigen	Presentase
Kemiringan lereng	0,11	11%
Jenis tanah	0,21	21%
Geologi	0,21	21%
Curah hujan	0,14	14%
Tutupan lahan	0,21	21%
elevasi	0,10	10%

Responden 5

parameter	Bobot Eigen	Presentase
Kemiringan lereng	0,11	11%
Jenis tanah	0,38	38%
Geologi	0,21	21%
Curah hujan	0,21	21%
Tutupan lahan	0,06	6%
elevasi	0,03	3%

Langkah 5

Bobot prioritas merupakan hasil akhir proses pembobotan menggunakan metode AHP yang diperoleh dari nilai bobot eigen. Bobot tersebut menggambarkan tingkat kepentingan relatif setiap parameter terhadap potensi tanah longsor dan selanjutnya digunakan dalam proses pembobotan spasial pada analisis Sistem Informasi Geografis (GIS).

Tabel 4.36 Bobot Prioritas Variabel Bahaya

Responden 1

parameter	Bobot prioritas	Peringkat
Kemiringan lereng	0,37	1
Jenis tanah	0,15	2
Geologi	0,15	2

Curah hujan	0,10	4
Tutupan lahan	0,09	5
elevasi	0,14	3

Responden 2

parameter	Bobot prioritas	Peringkat
Kemiringan lereng	0,39	1
Jenis tanah	0,17	3
Geologi	0,26	2
Curah hujan	0,09	4
Tutupan lahan	0,05	5
elevasi	0,04	6

Responden 3

parameter	Bobot prioritas	Peringkat
Kemiringan lereng	0,20	2
Jenis tanah	0,08	5
Geologi	0,41	1
Curah hujan	0,12	4
Tutupan lahan	0,15	3
elevasi	0,04	6

Responden 4

parameter	Bobot prioritas	Peringkat
Kemiringan lereng	0,11	3
Jenis tanah	0,21	1
Geologi	0,21	1
Curah hujan	0,14	2
Tutupan lahan	0,21	1
elevasi	0,10	4

Responden 5

parameter	Bobot prioritas	Peringkat
Kemiringan lereng	0,11	3
Jenis tanah	0,38	1
Geologi	0,21	2
Curah hujan	0,21	2
Tutupan lahan	0,06	4
elevasi	0,03	5

2. Rekapitulasi Bobot Prioritas Lima Responden

Bobot prioritas yang diperoleh dari masing-masing responden kemudian direkapitulasi untuk memperoleh bobot akhir yang digunakan dalam analisis. Rekapitulasi ini bertujuan untuk membandingkan hasil penilaian antarresponden sebelum dilakukan pengujian konsistensi secara global.

Tabel 4.37 Rekapitulasi Bobot Prioritas Lima Responden

Parameter	R1	R2	R3	R4	R5
Kemiringan lereng	0,37	0,39	0,20	0,11	0,11
Jenis tanah	0,15	0,17	0,08	0,21	0,38
Geologi	0,15	0,26	0,41	0,21	0,21
Curah hujan	0,10	0,09	0,12	0,14	0,21
Tutupan lahan	0,09	0,05	0,15	0,21	0,06
elevasi	0,14	0,04	0,04	0,10	0,03

3. Penentuan Bobot Prioritas Akhir

Setelah diperoleh bobot prioritas dari masing-masing responden, langkah selanjutnya adalah menentukan bobot prioritas akhir untuk setiap parameter. Pada penelitian ini, bobot prioritas akhir dihitung menggunakan metode rata-rata aritmatika (***Arithmetic Mean***). Metode ini dipilih karena setiap responden memberikan penilaian secara independen melalui matriks perbandingan berpasangan, sehingga setiap responden memiliki kontribusi yang sama dalam pembentukan bobot akhir. Hasil rata-rata tersebut

digunakan sebagai bobot representatif yang selanjutnya diterapkan pada analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS).

Perhitungan bobot prioritas akhir dilakukan dengan menjumlahkan bobot prioritas setiap parameter yang diperoleh dari kelima responden, kemudian membaginya dengan jumlah responden. Persamaan rumus yang digunakan pada 2.14

Sebagai contoh, bobot prioritas akhir untuk parameter Kemiringan Lereng dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$= \frac{\qquad\qquad\qquad\qquad}{}$$

$$= \frac{\qquad\qquad\qquad\qquad}{}$$

$$= \frac{\qquad}{}$$

$$= 0{,}24$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa bobot prioritas akhir parameter Kemiringan Lereng adalah 0,24. Prosedur yang sama diterapkan pada seluruh parameter penelitian sehingga diperoleh bobot prioritas akhir yang digunakan sebagai dasar dalam analisis risiko tanah longsor.

Tabel 4.38 Rekapitulasi Bobot Prioritas Akhir

Parameter	**R1**	**R2**	**R3**	**R4**	**R5**	**Bobot Prioritas akhir**	**%**
Kemiringan lereng	0,37	0,39	0,20	0,11	0,11	0,24	24%
Jenis tanah	0,15	0,17	0,08	0,21	0,38	0,20	20%
Geologi	0,15	0,26	0,41	0,21	0,21	0,25	25%
Curah hujan	0,10	0,09	0,12	0,14	0,21	0,13	13%
Tutupan lahan	0,09	0,05	0,15	0,21	0,06	0,11	11%
elevasi	0,14	0,04	0,04	0,10	0,03	0,07	7%

Berdasarkan hasil rekapitulasi bobot prioritas akhir, setiap parameter memiliki tingkat kepentingan yang berbeda terhadap potensi tanah longsor. Parameter dengan bobot yang lebih besar menunjukkan pengaruh yang lebih dominan dalam analisis, sedangkan parameter dengan bobot yang lebih kecil memiliki kontribusi yang relatif lebih rendah. Bobot prioritas akhir tersebut

selanjutnya digunakan sebagai nilai pembobotan pada proses analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk menghasilkan peta bahaya, kerentanan, keterpaparan, dan risiko tanah longsor.

4.5.3 Pembobotan Variabel Kerentanan Perresponden Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process

Setelah diperoleh bobot prioritas pada variabel bahaya, tahapan selanjutnya adalah melakukan pembobotan terhadap variabel kerentanan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Pembobotan ini bertujuan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif setiap parameter kerentanan terhadap tingkat risiko tanah longsor pada infrastruktur jalan.

Pada penelitian ini, variabel kerentanan terdiri atas tiga parameter, yaitu kondisi fisik jalan**,** geometri jalan**,** dan kepadatan bangunan. Ketiga parameter tersebut dibandingkan secara berpasangan oleh lima responden ahli menggunakan skala fundamental Saaty (1–9). Hasil penilaian masing-masing responden kemudian diolah melalui tahapan penyusunan matriks perbandingan berpasangan, normalisasi matriks, perhitungan bobot eigen, penentuan bobot prioritas, hingga diperoleh bobot prioritas akhir menggunakan metode rata-rata aritmatika (*Arithmetic Mean*).

Bobot prioritas akhir yang diperoleh menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing parameter kerentanan dalam memengaruhi tingkat risiko tanah longsor pada ruas jalan penelitian. Selanjutnya, bobot tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS).

1. **penyusunan matriks perbandingan berpasangan oleh masing-masing responden**

Hasil penilaian dari setiap responden disajikan dalam bentuk matriks perbandingan berpasangan sebagai berikut.

Keterangan:

KFJ: Kondisi Fisik Jalan

GJ: Geometri Jalan

KB: Kepadatan Bangunan

Tabel 4.39 Matriks Perbandingan Berpasangan Variabel Kerentanan

Responden 1

Kriteria	KFJ	GJ	KB
KFJ	1	1	1/6
GJ	1	1	1/6
KB	6	6	1

Responden 2

Kriteria	KFJ	GJ	KB
KFJ	1	1/3	3
GJ	3	1	5
KB	1/3	1/5	1

Responden 3

Kriteria	KFJ	GJ	KB
KFJ	1	1/5	1/5
GJ	5	1	1
KB	5	1	1

Responden 4

Kriteria	KFJ	GJ	KB
KFJ	1	1/6	1/8
GJ	6	1	1/6
KB	8	6	1

Responden 5

Kriteria	KFJ	GJ	KB
KFJ	1	1/7	5
GJ	7	1	7
KB	1/5	1/7	1

2. Normalisasi Matriks

Normalisasi matriks dilakukan dengan membagi setiap elemen matriks terhadap jumlah kolom yang bersesuaian. Tahapan ini bertujuan untuk menyetarakan skala nilai sehingga setiap parameter dapat dibandingkan

secara proporsional. Langkah – Langkah perhitungan menggunakan persamaan 2.11.

Tabel 4.40 Normalisasi Matriks Responden

Responden 1

Normalisasi	KFJ	GJ	KB
KFJ	0,13	0,13	0,13
GJ	0,13	0,13	0,13
KB	0,75	0,75	0,75

Responden 2

Normalisasi	KFJ	GJ	KB
KFJ	0,23	0,22	0,33
GJ	0,69	0,65	0,56
KB	0,08	0,13	0,11

Responden 3

Normalisasi	KFJ	GJ	KB
KFJ	0,09	0,09	0,09
GJ	0,45	0,45	0,45
KB	0,45	0,45	0,45

Responden 4

Normalisasi	KFJ	GJ	KB
KFJ	0,07	0,02	0,10
GJ	0,40	0,14	0,13
KB	0,53	0,84	0,77

Responden 5

Normalisasi	KFJ	GJ	KB
KFJ	0,12	0,11	0,38
GJ	0,85	0,78	0,54
KB	0,02	0,11	0,08

3. Perhitungan Nilai rata – rata setiap baris Matriks Normalisasi

Setelah proses normalisasi matriks selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah menghitung nilai rata-rata pada setiap baris matriks normalisasi. Nilai

rata-rata tersebut diperoleh dengan menjumlahkan seluruh nilai normalisasi pada masing-masing baris.

Contoh Perhitungan:

Misalkan hasil normalisasi pada responden 1 pada baris Kondisi Fisik Jalan

Parameter	Nilai Normalisasi
Kondisi Fisik Jalan	0,13
Geometri Jalan	0,13
Kepadatan Bangunan	0,13

Maka jumlah nilai normalisasi pada baris tersebut adalah

$$0,13 + 0,13 + 0,13 = 0,39$$

Tabel 4.41 Nilai Rata – Rata Setiap baris Matriks Normalisasi

Responden 1

Normalisasi	KFJ	GJ	KB	Rata -rata
KFJ	0,13	0,13	0,13	0,39
GJ	0,13	0,13	0,13	0,39
KB	0,75	0,75	0,75	2,25

Responden 2

Normalisasi	KFJ	GJ	KB	Rata -rata
KFJ	0,23	0,22	0,33	0,78
GJ	0,69	0,65	0,56	1,90
KB	0,08	0,13	0,11	0,32

Responden 3

Normalisasi	KFJ	GJ	KB	Rata - rata
KFJ	0,09	0,09	0,09	0,27
GJ	0,45	0,45	0,45	1,36
KB	0,45	0,45	0,45	1,36

Responden 4

Normalisasi	KFJ	GJ	KB	Rata - rata
KFJ	0,07	0,02	0,10	0,19
GJ	0,40	0,14	0,13	0,67

KB	0,53	0,84	0,77	2,14

Responden 5

Normalisasi	**KFJ**	**GJ**	**KB**	**Rata - rata**
KFJ	0,12	0,11	0,38	0,62
GJ	0,85	0,78	0,54	2,17
KB	0,02	0,11	0,08	0,21

4. Perhitungan Bobot Eigen

Bobot eigen dihitung berdasarkan rata-rata nilai pada setiap baris matriks normalisasi dengan menggunakan persamaan 2.12. Bobot eigen menggambarkan tingkat kepentingan relative masing-masing parameter kerentanan terhadap tujuan penelitian.

Langkah – Langkah Perhitungan:

Responden 1

	= ———	= ———————	Bobot Eigen
Baris Kondisi Fisik Jalan	= ———————	= ——	= 0,125
Baris Geometri Jalan	= ———————	= ——	= 0,125
Baris Kepadatan Bangunan	= ———————	= ——	= 0,75
		Total	= 1,00

Responden 2

	= ———	= ———————	Bobot Eigen
Baris Kondisi Fisik Jalan	= ———————	= ——	= 0,26
Baris Geometri Jalan	= ———————	= ——	= 0, 63
Baris Kepadatan Bangunan	= ———————	= ——	= 0,11
		Total	= 1,00

Responden 3

	= ———	= ———————	Bobot Eigen
Baris Kondisi Fisik Jalan	= ———————	= ——	= 0,1

Baris Geometri Jalan	= ———	= —	= 0,45
Baris Kepadatan Bangunan	= ———	= —	= 0,45
		Total	= 1,00

Responden 4

	= ———	= ———	Bobot Eigen
Baris Kondisi Fisik Jalan	= ———	= —	= 0,062
Baris Geometri Jalan	= ———	= —	= 0, 223
Baris Kepadatan Bangunan	= ———	= —	= 0,715
		Total	= 1,00

Responden 5

	= ———	= ———	Bobot Eigen
Baris Kondisi Fisik Jalan	= ———	= —	= 0,21
Baris Geometri Jalan	= ———	= —	= 0, 72
Baris Kepadatan Bangunan	= ———	= —	= 0,07
		Total	= 1,00

Tabel 4.42 Bobot Eigen Responden

Responden 1

Parameter	Bobot Eigen	Presentase
Kondisi Fisik Jalan	0,125	12,5 %
Geometri Jalan	0,125	12,5 %
Kepadatan Bangunan	0,75	75,0 %

Responden 2

Parameter	Bobot Eigen	Presentase
Kondisi Fisik Jalan	0,26	26%
Geometri Jalan	0,63	63%
Kepadatan Bangunan	0,11	11%

Responden 3

Parameter	Bobot Eigen	Presentase
Kondisi Fisik Jalan	0,1	10%
Geometri Jalan	0,45	45%
Kepadatan Bangunan	0,45	45%

Responden 4

Parameter	Bobot Eigen	Presentase
Kondisi Fisik Jalan	0,06	6,22%
Geometri Jalan	0,23	22,3%
Kepadatan Bangunan	0,71	71,5%

Responden 5

Parameter	Bobot Eigen	Presentase
Kondisi Fisik Jalan	0,21	21%
Geometri Jalan	0,72	72%
Kepadatan Bangunan	0,07	7%

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bobot eigen masing-masing parameter kerentanan. Semakin besar nilai bobot eigen yang diperoleh, semakin besar tingkat kepentingan parameter tersebut dalam memengaruhi kerentanan infrastruktur jalan terhadap tanah longsor.

5. Penentuan Bobot Prioritas

Bobot eigen yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai bobot prioritas masing-masing parameter kerentanan. Bobot prioritas menunjukkan besarnya kontribusi relatif setiap parameter dalam pembentukan variabel kerentanan.

Tabel 4.43 Penentuan Bobot Prioritas

Responden 1

Parameter	Bobot Eigen	Presentase	Peringkat
Kondisi Fisik Jalan	0,125	12,5 %	2
Geometri Jalan	0,125	12,5 %	2
Kepadatan Bangunan	0,75	75,0 %	1

Responden 2

Parameter	Bobot Eigen	Presentase	peringkat
Kondisi Fisik Jalan	0,26	26%	2
Geometri Jalan	0,63	63%	1
Kepadatan Bangunan	0,11	11%	3

Responden 3

Parameter	Bobot Eigen	Presentase	Peringkat
Kondisi Fisik Jalan	0,1	10%	2
Geometri Jalan	0,45	45%	1
Kepadatan Bangunan	0,45	45%	1

Responden 4

Parameter	Bobot Eigen	Presentase	peringkat
Kondisi Fisik Jalan	0,06	6,22%	3
Geometri Jalan	0,23	22,3%	2
Kepadatan Bangunan	0,71	71,5%	1

Responden 5

Parameter	Bobot Eigen	Presentase	peringkat
Kondisi Fisik Jalan	0,21	21%	2
Geometri Jalan	0,72	72%	1
Kepadatan Bangunan	0,07	7%	3

Hasil pembobotan menunjukkan bahwa parameter dengan bobot prioritas terbesar merupakan faktor yang dinilai paling dominan dalam memengaruhi kerentanan infrastruktur jalan, sedangkan parameter dengan bobot yang lebih kecil menunjukkan tingkat pengaruh yang relatif lebih rendah.

6. Rekapitulasi Bobot Prioritas Lima Responden

Setelah bobot prioritas masing-masing responden diperoleh, dilakukan rekapitulasi untuk mengetahui perbedaan dan kesamaan hasil pembobotan antarresponden. Rekapitulasi ini menjadi dasar dalam penentuan bobot prioritas akhir menggunakan metode rata-rata aritmatika (*Arithmetic Mean*).

Tabel 4.44 Rekapitulasi Bobot Prioritas Lima Responden

Variabel Kerentanan

Parameter	R1	R2	R3	R4	R5
KFJ	0,13	0,26	0,09	0,06	0,21
GJ	0,13	0,63	0,45	0,22	0,72
KB	0,75	0,11	0,45	0,71	0,07

7. Penentuan Bobot Prioritas Akhir

Bobot prioritas akhir dihitung menggunakan metode rata-rata aritmatika dengan menjumlahkan bobot prioritas setiap parameter dari lima responden, kemudian membaginya dengan jumlah responden. Pendekatan ini memberikan bobot yang merepresentasikan penilaian seluruh responden secara proporsional.

Sebagai contoh, bobot prioritas akhir untuk parameter Kondisi Fisik Jalan dihitung menggunakan persamaan berikut.

=

=

=

= 0,37

Sehingga tabel menjadi:

Tabel 4.45 Prioritas Akhiri Variabel Kerentanan

Parameter	R1	R2	R3	R4	R5	Jumlah Bobot	Bobot Prioritas Akhir
KFJ	0,13	0,26	0,09	0,06	0,21	0,75	0,15
GJ	0,13	0,63	0,45	0,22	0,72	2.15	0,43
KB	0,75	0,11	0,45	0,71	0,07	2,09	0,42

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh bobot prioritas akhir untuk setiap parameter kerentanan. Bobot ini menunjukkan tingkat kepentingan relatif kondisi fisik jalan, geometri jalan, dan kepadatan bangunan dalam memengaruhi kerentanan infrastruktur jalan terhadap tanah longsor. Bobot prioritas akhir selanjutnya digunakan sebagai input dalam analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS).

4.5.4 Pembobotan Variabel Keterpaparan PerResponden Menggunakan *Analytical Hierarchy Process*

Setelah diperoleh bobot prioritas pada variabel bahaya dan variabel kerentanan, tahapan selanjutnya adalah melakukan pembobotan terhadap variabel keterpaparan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Pembobotan ini bertujuan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif setiap parameter keterpaparan terhadap risiko tanah longsor pada infrastruktur jalan.

Variabel keterpaparan dalam penelitian ini terdiri atas Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)**,** aktivitas sosial ekonomi**,** dan kepadatan penduduk**.** Ketiga parameter tersebut dipilih karena mewakili tingkat paparan infrastruktur jalan terhadap potensi dampak tanah longsor berdasarkan intensitas penggunaan jalan, aktivitas masyarakat, serta jumlah penduduk yang berpotensi terdampak apabila terjadi bencana tanah longsor.

Penilaian dilakukan oleh lima responden ahli melalui kuesioner perbandingan berpasangan menggunakan skala fundamental Saaty (1–9). Setiap responden memberikan penilaian secara independen sehingga menghasilkan matriks perbandingan berpasangan yang selanjutnya diolah melalui tahapan penyusunan matriks perbandingan, normalisasi matriks, perhitungan bobot eigen, penentuan bobot prioritas, hingga diperoleh bobot prioritas akhir menggunakan metode rata-rata aritmatika (*Arithmetic Mean*). Bobot prioritas akhir tersebut kemudian digunakan sebagai bobot variabel keterpaparan dalam analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS).

1. penyusunan matriks perbandingan berpasangan oleh masing-masing responden

Hasil penilaian dari setiap responden disajikan dalam bentuk matriks perbandingan berpasangan sebagai berikut.

Keterangan:

LHR: Volume Lalu Lintas Harian Rata – rata

KP: Kepadatan Penduduk

ASE: Aktivitas Sosial Ekonomi

Tabel 4.46 Matriks Perbandingan Berpasangan Variabel Keterpaparan

Responden 1

Kriteria	LHR	KP	ASE
LHR	1	1/7	1/7
KP	7	1	1
ASE	7	1	1

Responden 2

Kriteria	LHR	KP	ASE
LHR	1	5	3
KP	1/5	1	1/3
ASE	1/3	3	1

Responden 3

Kriteria	LHR	KP	ASE
LHR	1	5	3
KP	1/5	1	1/4
ASE	1/3	4	1

Responden 4

Kriteria	LHR	KP	ASE
LHR	1	9	1
KP	1/9	1	1/9
ASE	1	9	1

Responden 5

Kriteria	LHR	KP	ASE
LHR	1	8	7
KP	1/8	1	1/3
ASE	1/7	3	1

5. Perhitungan Jumlah Kolom Matriks

Setelah matriks perbandingan berpasangan disusun, langkah berikutnya adalah menghitung jumlah nilai pada setiap kolom matriks. Hasil penjumlahan setiap kolom digunakan sebagai dasar dalam proses normalisasi matriks sehingga seluruh nilai berada pada skala yang sebanding.

Contoh Perhitungan untuk Kolom LHR di salah satu responden:

LHR: 1 + – + –

Jumlah LHR = 1+ 7+7

Jumlah LHR = 15

Tabel 4.47 Jumlah Kolom Matriks per Responden

Kriteria	LHR	KP	ASE
R1	15,00	2,14	2,14
R2	1,53	9,00	4,33
R3	1,53	10,00	4,25
R4	2,11	19,00	2,11
R5	1,27	12,00	8,33

6. Normalisasi Matriks

Normalisasi matriks dilakukan dengan membagi setiap elemen matriks terhadap jumlah kolom yang bersesuaian. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh nilai proporsional sehingga masing-masing parameter dapat dibandingkan secara objektif.

Contoh Perhitungan:

Responden 1 LHR terhadap LHR

= —

= 0,07

Tabel 4.48 Hasil Normalisasi

Responden 1

Normalisasi	LHR	KP	ASE
LHR	0,07	0,07	0,07
KP	0,47	0,47	0,47
ASE	0,47	0,47	0,47

Responden 2

Normalisasi	LHR	KP	ASE
LHR	0,65	0,56	0,69

KP	0,13	0,11	0,08
ASE	0,22	0,33	0,23

Responden 3

Normalisasi	LHR	KP	ASE
LHR	0,65	0,50	0,71
KP	0,13	0,10	0,06
ASE	0,22	0,40	0,24

Responden 4

Normalisasi	LHR	KP	ASE
LHR	0,47	0,47	0,47
KP	0,05	0,05	0,05
ASE	0,47	0,47	0,47

Responden 5

Normalisasi	LHR	KP	ASE
LHR	0,79	0,67	0,84
KP	0,10	0,08	0,04
ASE	0,11	0,25	0,12

7. Perhitungan Bobot Eigen

Bobot eigen diperoleh dari rata-rata nilai pada setiap baris matriks normalisasi. Bobot ini menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing parameter keterpaparan terhadap tujuan penelitian.

Langkah – Langkah Perhitungan:

Responden 1

	= ———	= ———————	Bobot Eigen
Baris Vol. LHR	= ———————	= ——	= 0,06
Baris Kepadatan Penduduk	= ———————	= ——	= 0,47
Baris Aktivitas Sosial Ekonomi	= ———————	= ——	= 0,47
		Total	= 1,00

Responden 2

	= ———	= ———————	Bobot Eigen
Baris Vol. LHR	= ———————	= ——	= 0,63
Baris Kepadatan Penduduk	= ———————	= ——	= 0,11
Baris Aktivitas Sosial Ekonomi	= ———————	= ——	= 0,26
		Total	= 1,00

Responden 3

	= ———	= ———————	Bobot Eigen
Baris Vol. LHR	= ———————	= ——	= 0,62
Baris Kepadatan Penduduk	= ———————	= ——	= 0,10
Baris Aktivitas Sosial Ekonomi	= ———————	= ——	= 0,28
		Total	= 1,00

Responden 4

	= ———	= ———————	Bobot Eigen
Baris Vol. LHR	= ———————	= ——	= 0,474
Baris Kepadatan Penduduk	= ———————	= ——	= 0,053
Baris Aktivitas Sosial Ekonomi	= ———————	= ——	= 0,474
		Total	= 1,00

Responden 5

	= ———	= ———————	Bobot Eigen
Baris Vol. LHR	= ———————	= ——	= 0,77
Baris Kepadatan Penduduk	= ———————	= ——	= 0,07
Baris Aktivitas Sosial Ekonomi	= ———————	= ——	= 0,16
		Total	= 1,00

Tabel 4.49 Bobot Prioritas

Responden 1

Parameter	Bobot prioritas	Presentase
LHR	0,06	6%
KP	0,47	47%
ASE	0,47	47%

Responden 2

Parameter	Bobot prioritas	Presentase
LHR	0,63	63%
KP	0,11	11%
ASE	0,26	26%

Responden 3

Parameter	Bobot prioritas	Presentase
LHR	0,62	62%
KP	0,10	10%
ASE	0,28	28%

Responden 4

Parameter	Bobot prioritas	Presentase
LHR	0, 474	47,37%
KP	0,05	5,26%
ASE	0,474	47,37%

Responden 5

Parameter	Bobot prioritas	Presentase
LHR	0,77	77%
KP	0,07	7%
ASE	0,16	16%

Hasil perhitungan menunjukkan bobot eigen masing-masing parameter keterpaparan. Semakin besar nilai bobot eigen yang diperoleh, semakin besar tingkat kepentingan parameter tersebut dalam memengaruhi tingkat keterpaparan terhadap risiko tanah longsor.

8. Rekapitulasi Bobot Prioritas Lima Responden

Setelah bobot prioritas masing-masing responden diperoleh, dilakukan rekapitulasi untuk mengetahui hasil pembobotan setiap parameter dari seluruh responden. Rekapitulasi tersebut menjadi dasar dalam penentuan bobot prioritas akhir menggunakan metode rata-rata aritmatika (*Arithmetic Mean*).

Tabel 4.50 Rekapitulasi Bobot Prioritas Lima Responden Variabel Keterpaparan

Parameter	R1	R2	R3	R4	R5
LHR	0,06	0,63	0,62	0, 474	0,77
KP	0,47	0,11	0,10	0,05	0,07
ASE	0,47	0,26	0,28	0,474	0,16

9. Penentuan Bobot Prioritas Akhir

Bobot prioritas akhir dihitung menggunakan metode rata-rata aritmatika dengan menjumlahkan bobot prioritas masing-masing parameter dari lima responden, kemudian membaginya dengan jumlah responden. Bobot ini menjadi nilai pembobotan yang digunakan dalam analisis spasial variabel keterpaparan.

Sebagai contoh, bobot prioritas akhir untuk parameter Kondisi Fisik Jalan dihitung menggunakan persamaan berikut.

=

=

=

= 0,51

Hasil perhitungan menunjukkan bobot prioritas akhir yang merepresentasikan penilaian kolektif dari lima responden. Bobot tersebut selanjutnya digunakan sebagai pembobot dalam analisis variabel keterpaparan.

Tabel 4.51 Rekapitulasi Bobot Hasil Akhir Lima Responden Variabel Keterpaparan

Parameter	R1	R2	R3	R4	R5	Jumlah	Bobot
LHR	0,06	0,63	0,62	0, 474	0,77	2,56	0,51
KP	0,47	0,11	0,10	0,05	0,07	0,80	0,16
ASE	0,47	0,26	0,28	0,474	0,16	1,65	0,33

4.5.5 Rekapitulasi Hasil Pembobotan Analytical Hierarchy Process (AHP)

Setelah diperoleh bobot prioritas (Bobot L2) dari masing-masing subkriteria melalui metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)**,** selanjutnya dilakukan penyusunan rekapitulasi bobot global. Rekapitulasi ini bertujuan untuk menyajikan hasil akhir pembobotan seluruh subkriteria dalam satu tabel sehingga mempermudah interpretasi kontribusi setiap parameter terhadap keseluruhan sistem pembobotan.

Pada penelitian ini, bobot global dihitung menggunakan metode penjumlahan kumulatif (*running total*) yang dilakukan melalui perangkat lunak Microsoft Excel. Perhitungan dimulai dari bobot subkriteria pertama, kemudian setiap bobot subkriteria berikutnya dijumlahkan dengan nilai kumulatif sebelumnya hingga menghasilkan total bobot sebesar **3,00**. Nilai tersebut merupakan jumlah seluruh bobot prioritas (Bobot L2) yang diperoleh dari hasil pembobotan AHP.

Contoh Perhitungan:

1. Kemiringan lereng

=

Bobot L2 = 0,24

Karena merupakan parameter pertama, maka:

= 024

2. Jenis Tanah

Bobot L2 atau W2= 0,20

Maka:

= +

= 0,24 + 0,20

= 0,44

3. Geologi

Bobot L3 atau W3= 0,25

Maka:

= +

= 0,44 + 0,25

= 0,69

∑W = 0,24 + 0,20 + 0,25 + 0,13 + 0,11 + 0,07 + 0,15 + 0,43 + 0,42 + 0,51 + 0,16

∑W = 3,00

Perhitungan dilakukan dengan prosedur yang sama hingga seluruh subkriteria diperoleh nilai bobot global kumulatif sebesar **3,00**, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.23.

Untuk mengetahui kontribusi kumulatif setiap subkriteria terhadap total pembobotan, bobot global kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase menggunakan persamaan di bab II

Contoh Perhitungan Presentase

Untuk Parameter Geometri Jalan:

P = ——

P = 0,09

P = 9 %

Perhitungan dilakukan hingga parameter terakhir sehingga diperoleh nilai persentase kumulatif sebesar **100%**.

Tabel 4.52 Rekapitulasi Hasil Pembobotan AHP Seluruh Subkriteria

Sub-Kriteria (L2)	Bobot L2	Bobot Global	Presentase %
Kemiringan Lereng	0,24	**0,24**	1%
Jenis Tanah	0,20	**0,44**	3%
Geologi	0,25	**0,69**	4%
Curah Hujan	0,13	**0,82**	5%
Tutupan Lahan	0,11	**0,93**	5%
Elevasi	0,07	**1,00**	6%

Kondisi Fisik jalan	0,15	**1,15**	7%
Geometri Jalan	0,43	**1,58**	9%
Kepadatan Bangunan	0,42	**2,00**	12%
Volume LHR	0,51	**2,51**	15%
Kepadatan Penduduk	0,16	**2,67**	16%
Aktivitas Sosial-Ekonomi	0,33	**3,00**	18%
Total	**3,00**	**17,01**	100%

Berdasarkan hasil rekapitulasi pembobotan AHP, diperoleh total bobot kumulatif sebesar **17,01** dengan persentase kumulatif mencapai **100%**. Rekapitulasi ini menunjukkan bahwa seluruh subkriteria telah terakomodasi dalam sistem pembobotan yang digunakan pada penelitian. **Bobot L2** selanjutnya digunakan sebagai bobot pada proses *Weighted Overlay* di ArcGIS Pro, sedangkan bobot global kumulatif digunakan sebagai rekapitulasi hasil akhir pembobotan untuk mempermudah interpretasi distribusi bobot antar subkriteria.

4.6 Integrasi Pembobotan AHP dengan Analisis Sistem Informasi Geografis (GIS)

Setelah seluruh parameter direklasifikasi dan diberikan bobot berdasarkan hasil *Analytical Hierarchy Process (AHP),* proses selanjutnya adalah mengintegrasikan seluruh layer menggunakan metode *Weighted Overlay* pada perangkat lunak GIS sehingga diperoleh nilai indeks risiko longsor pada setiap piksel. Nilai indeks tersebut kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kelas tingkat risiko, yaitu rendah, sedang, dan tinggi**,** menggunakan metode *Equal Interval* dengan menggunakan persamaan yang ada di 2.9.

Berdasarkan hasil *Weighted Overlay* diperoleh:

Nilai maksimum = **5,39**

Nilai minimum = **4,54**

Jumlah kelas = **3**

Maka:

$$I = \frac{\text{———}}{\text{———}}$$

$$I = \frac{\text{——}}{\text{——}}$$

$$I = 0,28$$

Sehingga diperoleh interval klasifikasi sebagai berikut.

Tabel 4.53 Klasifikasi Integrasi

Kelas Risiko	Interval Kelas
Rendah	4,54 – 4,82
Sedang	>4,82 – 5,10
Tinggi	>5,10 – 5,39

Metode AHP digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif (bobot) setiap parameter berdasarkan hasil penilaian para pakar, sedangkan GIS berfungsi sebagai media pengolahan data spasial melalui proses ***weighted overlay,*** yaitu teknik analisis yang menggabungkan beberapa layer tematik dengan mempertimbangkan nilai skor dan bobot masing-masing parameter. Dengan metode tersebut, setiap parameter tidak memiliki pengaruh yang sama, melainkan disesuaikan dengan tingkat kontribusinya terhadap potensi terjadinya longsor.

Pada penelitian ini, pembobotan AHP yang digunakan dalam proses overlay merupakan bobot Level 2 (L2) hasil sintesis penilaian enam orang pakar. Bobot tersebut kemudian diterapkan pada setiap parameter penyusun variabel bahaya, kerentanan, dan keterpaparan melalui proses perkalian antara nilai skor parameter dengan bobot AHP. Selanjutnya seluruh hasil perkalian dijumlahkan sehingga diperoleh nilai indeks untuk masing-masing variabel.

a. Tahapan Integrasi

Tahapan integrasi dilakukan secara bertingkat, yaitu:

1. Integrasi variabel bahaya

Variabel bahaya merupakan komponen utama yang menunjukkan tingkat potensi terjadinya longsor berdasarkan kondisi fisik wilayah. Variabel ini disusun dari enam parameter, yaitu kemiringan lereng, curah hujan, jenis tanah, geologi, tutupan lahan, dan elevasi. Masing-masing parameter telah

direklasifikasi berdasarkan skor yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya, kemudian dikalikan dengan bobot hasil AHP.

Persamaan integrasi variabel bahaya adalah sebagai berikut:

H = ×)

Atau *(4.1)*

H =) +) +) + …..)

Keterangan:

: bobot parameter bahaya

: skor hasil reklasifikasi

Tabel 4.54 Perhitungan Integrasi variable Bahaya

Parameter	**Skor hasil analisis**	**Bobot AHP (L2)**	**Nilai berbobot**
Kemiringan Lereng	4	0,24	0,96
Jenis Tanah	1	0,20	0,20
Geologi	5	0,25	1,25
Curah Hujan	4	0,13	0,52
Tutupan Lahan	4	0,11	0,44
Elevasi	3	0,07	0,21

Maka nilai bahaya pada lokasi tersebut adalah:

H = 0,96 + 0,20 + 1,25 + 0,52 + 0,44 + 0,21

H = 3,58

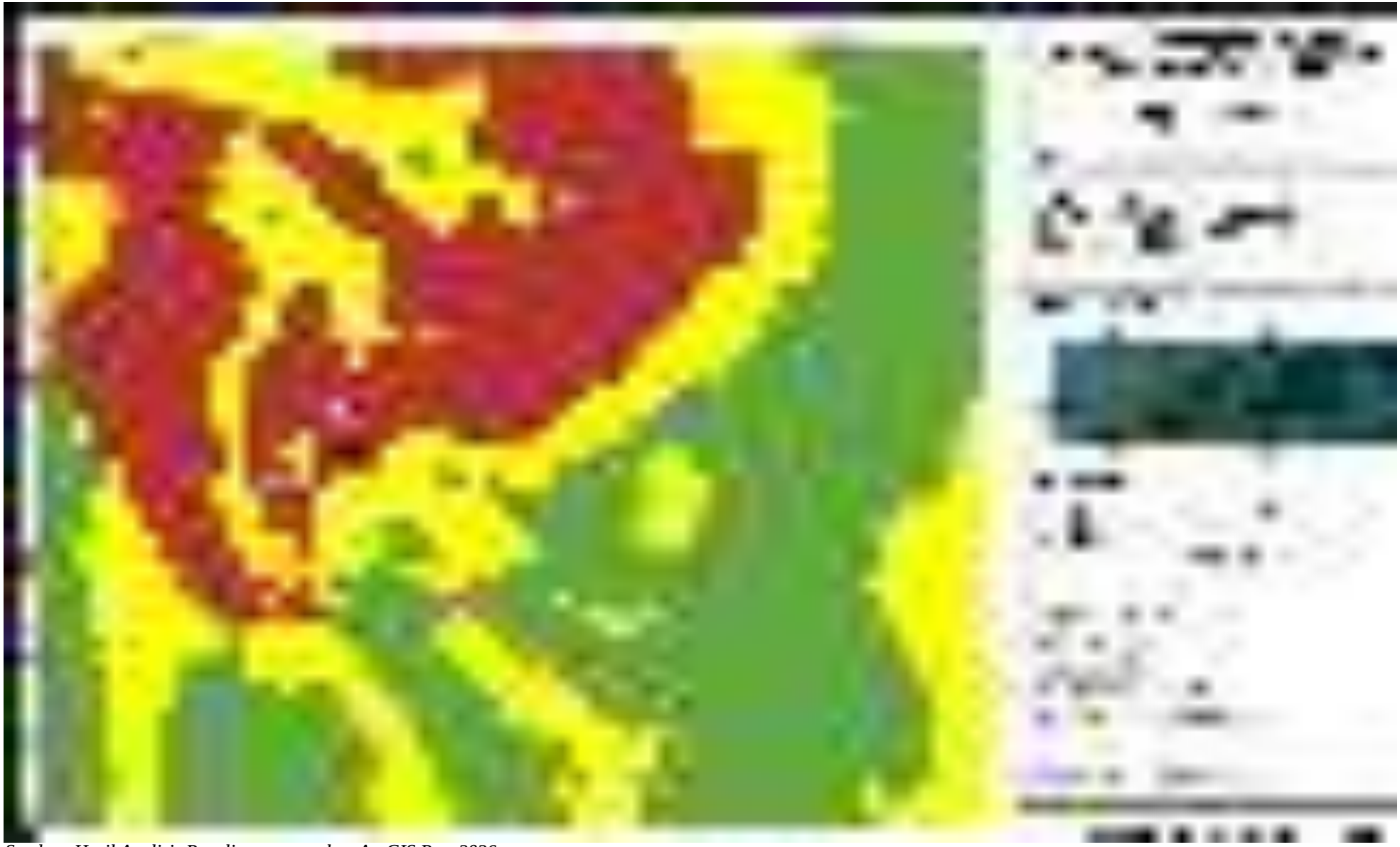
Jadi satu piksel atau keseluruhan segmen memiliki nilai indeks bahaya yaitu 3,58.

Seluruh parameter kemudian diproses menggunakan *Weighted Overlay* pada ArcGIS Pro sehingga menghasilkan peta bahaya longsor pada gambar 4.15.

Berdasarkan hasil integrasi menggunakan metode AHP dan GIS diperoleh tiga kelas bahaya, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Kelas bahaya tinggi mendominasi sebagian besar wilayah penelitian, terutama pada area dengan kemiringan lereng yang curam, curah hujan yang sangat tinggi, jenis tanah Inceptisol (Je62-2/3a), serta kondisi geologi berupa Batuan Gunungapi Serantak. Kombinasi parameter tersebut menyebabkan kondisi lereng

menjadi lebih rentan mengalami ketidakstabilan sehingga meningkatkan potensi terjadinya longsor.

Sementara itu, kelas bahaya sedang tersebar pada area transisi yang memiliki kombinasi parameter dengan tingkat pengaruh menengah, sedangkan kelas bahaya rendah berada pada lokasi dengan kondisi lereng yang lebih atau parameter penyusun yang relatif lebih stabil. Hasil ini menunjukkan bahwa Geologi alam menjadi penyebab utama tingginya potensi bahaya longsor pada ruas Jalan Sungai Urang.



Sumber: Hasil Analisis Penulis menggunakan ArcGIS Pro, 2026

Gambar 4.16 Peta Hasil Integrasi Variabel Bahaya Menggunakan Pembobotan AHP pada GIS

2. Integrasi variabel kerentanan

Variabel kerentanan menggambarkan tingkat kerusakan yang mungkin dialami oleh objek yang terdampak apabila terjadi longsor. Dalam penelitian ini variabel kerentanan disusun dari tiga parameter, yaitu kondisi fisik jalan, geometri jalan, dan kepadatan bangunan.

Ketiga parameter tersebut diberikan skor dan dikalikan dengan bobot AHP sebelum dilakukan proses overlay menggunakan GIS dengan menggunakan persamaan di 4.2.

Tabel 4.55 Perhitungan Integrasi variable Kerentanan

Parameter	Skor hasil analisis	Bobot AHP (L2)	Nilai berbobot
Kondisi Fisik Jalan	3	0,15	0,45
Geometri Jalan	1	0,43	0,43
Kepadatan Bangunan	1	0,42	0,42

Maka nilai indeks kerentanan pada lokasi tersebut adalah:

$$V = 0,45 + 0,43 + 0,42$$

$$V = 1,3$$

Hasil proses tersebut menghasilkan peta kerentanan pada ruas Jalan Sungai Urang pada gambar 4.16

Hasil integrasi menunjukkan bahwa seluruh ruas Jalan Sungai Urang berada pada kelas kerentanan rendah. Kondisi ini dipengaruhi oleh kondisi fisik jalan yang masih baik, geometri jalan yang masih memenuhi standar pelayanan jalan, serta kepadatan bangunan di sekitar ruas jalan yang relatif rendah. Dengan demikian, tingkat kerusakan terhadap kondisi fisik di sekitar lokasi penelitian apabila terjadi longsor masih tergolong rendah.

Meskipun demikian, kondisi kerentanan yang rendah tidak menghilangkan potensi risiko apabila bahaya longsor yang terjadi memiliki intensitas tinggi. Oleh karena itu, variabel kerentanan tetap menjadi komponen penting dalam analisis kerawanan secara keseluruhan.



Sumber: Hasil Analisis Penulis menggunakan ArcGIS Pro, 2026

Gambar 4.17 Peta Hasil Integrasi Variabel Kerentanan Menggunakan Pembobotan AHP pada GIS

3. Integrasi Variabel Keterpaparan

Variabel keterpaparan menunjukkan tingkat keberadaan objek yang berpotensi terdampak apabila terjadi longsor. Variabel ini disusun dari tiga parameter, yaitu volume lalu lintas harian (LHR), kepadatan penduduk, dan aktivitas sosial ekonomi.

Seluruh parameter terlebih dahulu diberikan skor kemudian dikalikan dengan bobot hasil AHP sebelum dilakukan proses overlay pada GIS. Persamaan integrasi variabel keterpaparan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.56 Perhitungan Integrasi variable Kerentanan

Parameter	Skor hasil analisis	Bobot AHP (L2)	Nilai berbobot
Volume Lalu Lintas Harian	1	0,51	0,51
Kepadatan Penduduk	1	0,16	0,16
Aktivitas Sosial Ekonomi	1	0,33	0,33

Maka nilai indeks kerentanan pada lokasi tersebut adalah:

$$E = 0,51 + 0,16 + 0,33$$

$$E = 1$$

Hasil integrasi menghasilkan peta keterpaparan ruas Jalan Sungai Urang pada gambar 4.17

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh ruas Jalan Sungai Urang termasuk dalam kelas keterpaparan rendah. Hal ini dipengaruhi oleh volume lalu lintas yang relatif rendah, kepadatan penduduk yang tidak padat, serta aktivitas sosial ekonomi yang masih didominasi oleh kawasan pertanian lahan kering campur sehingga jumlah objek yang berpotensi terdampak longsor relatif sedikit.

Walaupun tingkat keterpaparan tergolong rendah, ruas Jalan Sungai Urang tetap memiliki fungsi penting sebagai akses transportasi masyarakat. Oleh karena itu, apabila terjadi longsor, gangguan terhadap mobilitas masyarakat dan distribusi barang tetap dapat terjadi meskipun jumlah penduduk yang terdampak secara langsung relatif kecil.



Sumber: Hasil Analisis Penulis menggunakan ArcGIS Pro, 2026

Gambar 4.18 Peta Hasil Integrasi Variabel Keterpaparan Menggunakan Pembobotan AHP pada GIS

4. Integrasi Variabel Bahaya, Kerentanan, dan Keterpaparan

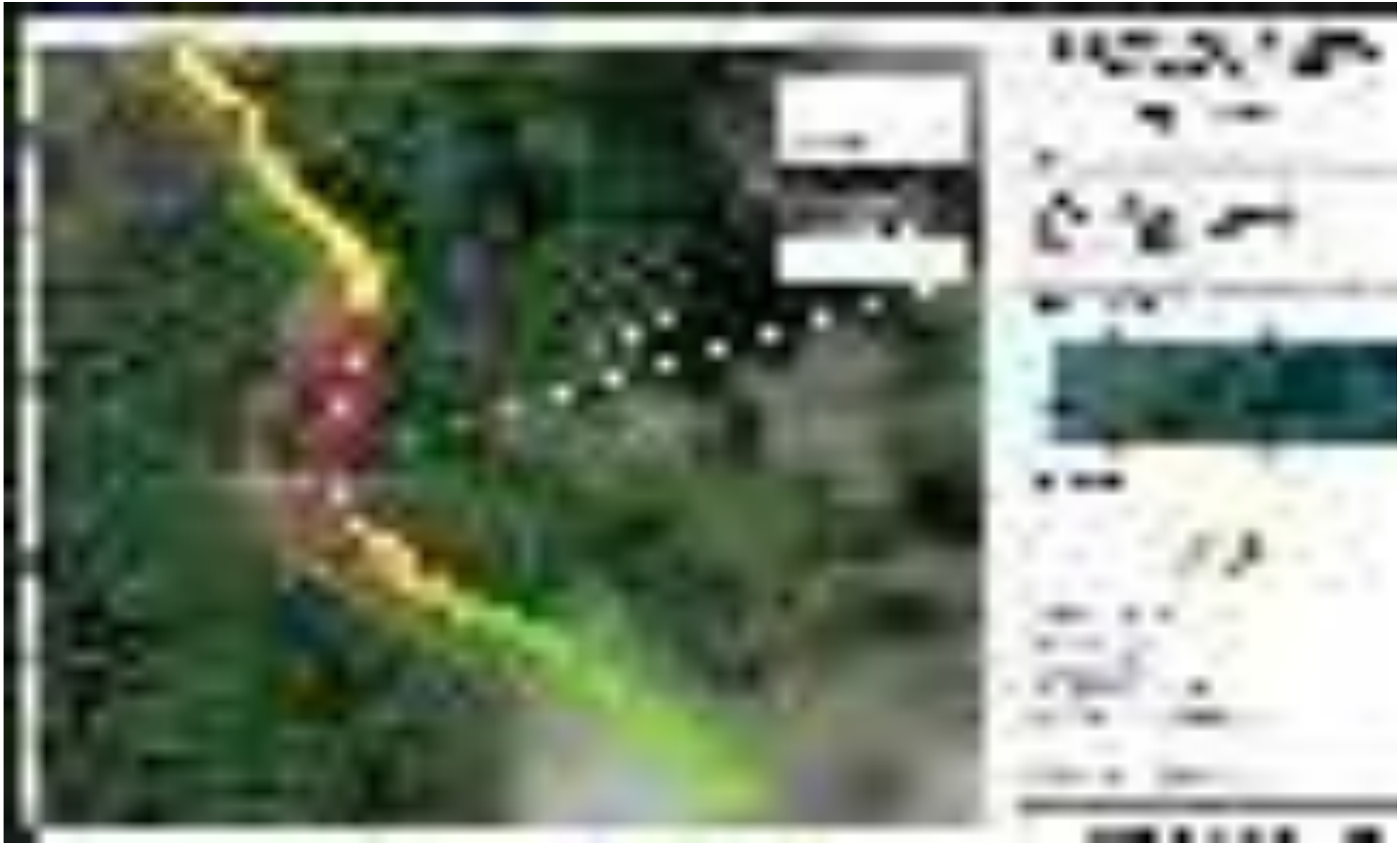
Tahap akhir dalam penelitian ini adalah mengintegrasikan ketiga variabel utama, yaitu bahaya, kerentanan, dan keterpaparan menjadi satu indeks risiko longsor menggunakan metode *Weighted Overlay* pada Sistem Informasi Geografis. Pada tahap ini, masing-masing variabel merupakan hasil integrasi parameter penyusunnya yang telah melalui proses skoring dan pembobotan menggunakan metode AHP.

Proses integrasi dilakukan dengan menjumlahkan nilai indeks dari variabel bahaya, kerentanan, dan keterpaparan pada setiap piksel sehingga menghasilkan tingkat risiko longsor di sepanjang ruas Jalan Sungai Urang. Persamaan rumus yang digunakan pada 2.1

Hasil akhir proses overlay menghasilkan Peta Risiko longsor Ruas Jalan Sungai Urang Kabupaten Bulungan yang selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

Peta risiko longsor merupakan hasil sintesis seluruh parameter yang dianalisis dalam penelitian ini. Berdasarkan hasil integrasi, tingkat kerawanan di ruas Jalan Sungai Urang didominasi oleh kelas sedang hingga tinggi pada beberapa segmen jalan. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh dominasi variabel bahaya yang memiliki nilai tinggi, sementara variabel kerentanan dan keterpaparan cenderung berada pada kelas rendah. Hal ini menunjukkan bahwa faktor fisik lingkungan merupakan pengendali utama tingkat risiko longsor di lokasi penelitian.

Hasil akhir ini menjadi dasar dalam menentukan prioritas penanganan, seperti peningkatan stabilitas lereng, pembangunan sistem drainase lereng, pemasangan dinding penahan tanah, pemantauan pada musim hujan, serta pemasangan rambu peringatan di segmen jalan yang memiliki tingkat kerawanan tinggi. Dengan demikian, peta kerawanan yang dihasilkan melalui integrasi metode AHP dan GIS dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam upaya mitigasi bencana longsor dan pengelolaan infrastruktur jalan di Kabupaten Bulungan.



Sumber: Hasil Analisis Penulis menggunakan ArcGIS Pro, 2026

Gambar 4.19 Peta Hasil Integrasi Pembobotan AHP dan Analisis SIG Risiko longsor Ruas Jalan Sungai Urang, Kabupaten Bulungan

4.7 Zona Prioritas Penanganan Berdasarkan Hasil Integrasi Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Sistem Informasi Geografis (GIS)

Integrasi pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dengan analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS) menghasilkan peta risiko longsor yang menggambarkan distribusi tingkat risiko pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang. Peta tersebut merupakan hasil *weighted overlay* dari seluruh parameter bahaya, kerentanan, dan keterpaparan yang telah dibobotkan menggunakan metode AHP sehingga setiap kelas kerawanan mencerminkan tingkat risiko longsor berdasarkan tingkat pengaruh masing-masing parameter.

Ruas penelitian sepanjang 600 meter dibagi menjadi tiga segmen, masing-masing sepanjang 200 meter**.** Pembagian segmen ini tidak digunakan sebagai dasar perhitungan indeks risiko baru, melainkan sebagai unit interpretasi terhadap hasil peta risiko yang telah diperoleh melalui integrasi AHP dan GIS. Dengan demikian, penentuan zona prioritas tidak didasarkan pada satu titik tertentu, tetapi mempertimbangkan kondisi kerawanan yang mendominasi sepanjang masing-masing segmen.

Semakin tinggi kelas kerawanan yang mendominasi suatu segmen, maka semakin tinggi pula tingkat prioritas penanganan yang direkomendasikan. Sebaliknya, segmen dengan tingkat kerawanan lebih rendah diarahkan pada upaya pemeliharaan dan pengendalian agar kondisi eksisting tetap stabil serta tidak berkembang menjadi kerawanan yang lebih tinggi.

Berdasarkan peta zona prioritas penanganan yang ditampilkan pada Gambar 4.16, terlihat bahwa distribusi risiko longsor tidak tersebar secara merata pada seluruh ruas penelitian. Variasi tingkat kerawanan tersebut menunjukkan bahwa setiap segmen memiliki karakteristik risiko yang berbeda sehingga memerlukan strategi penanganan yang berbeda pula.

4.57 Interpretasi Zona Prioritas Penanganan Setiap Segmen

Segmen	STA	Kondisi Dominan Berdasarkan Peta Risiko	Zona Prioritas	Kerawanan Dominan
1	07+854 – 08+054	Awal segmen berisiko rendah (hijau), kemudian bertransisi menjadi risiko rendah (kuning) dan mendominasi sebagian besar segmen.	Prioritas II	Sedang
2	08+054– 08+254	Risiko tinggi mendominasi hampir seluruh bagian segmen.	Prioritas I	Tinggi
3	08+254– 09+604	Sebagian besar segmen berada pada risiko tinggi (merah) dan mulai bertransisi menjadi risiko sedang (kuning) pada bagian akhir segmen menuju STA 0+600.	Prioritas I	Tinggi

Sumber: Hasil interpretasi penulis berdasarkan hasil integrasi AHP dan GIS (2026).

a. Zona Prioritas Penanganan Segmen 1

Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa Segmen 1 merupakan bagian ruas jalan dengan kondisi kerawanan yang relatif lebih rendah dibandingkan segmen lainnya. Pada bagian awal segmen masih dijumpai kelas kerawanan rendah yang kemudian bertransisi menjadi kerawanan sedang hingga mendominasi sebagian besar panjang segmen. Pola perubahan tersebut menunjukkan bahwa kondisi lingkungan pada segmen ini mulai mengalami peningkatan tingkat kerawanan, namun belum berkembang menjadi zona dengan potensi longsor tinggi.

Berdasarkan kondisi tersebut, Segmen 1 ditetapkan sebagai Zona Prioritas II**.** Penetapan ini menunjukkan bahwa penanganan pada segmen ini lebih diarahkan pada upaya pencegahan agar faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya longsor tidak berkembang menjadi kondisi yang lebih kritis. Pemeliharaan drainase, pengendalian limpasan permukaan, perbaikan bahu jalan, pengendalian erosi lereng, serta revegetasi pada area terbuka merupakan langkah yang perlu dilakukan untuk menjaga kestabilan lereng dan mempertahankan fungsi pelayanan jalan.

b. Zona Prioritas Penanganan Segmen 2

Segmen 2 merupakan bagian ruas jalan yang memiliki tingkat kerawanan paling tinggi berdasarkan hasil integrasi AHP dan GIS. Hampir seluruh bagian segmen berada pada kelas kerawanan tinggi sehingga ditetapkan sebagai Zona Prioritas I. Dominasi kelas kerawanan tinggi menunjukkan bahwa kombinasi parameter bahaya, kerentanan, dan keterpaparan pada lokasi ini memberikan kontribusi yang besar terhadap potensi terjadinya longsor.

Hasil analisis tersebut diperkuat oleh observasi lapangan yang menunjukkan adanya lokasi bekas kejadian longsor pada segmen ini. Kejadian tersebut membuktikan bahwa tingkat kerawanan yang dihasilkan melalui analisis AHP dan GIS sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Oleh karena itu, penanganan pada Segmen 2 perlu diprioritaskan melalui pembangunan struktur pengaman lereng seperti dinding penahan tanah atau bronjong, peningkatan sistem drainase, revegetasi pada lereng terbuka, serta pemasangan rambu peringatan daerah rawan longsor. Selain itu, inspeksi rutin terutama pada musim hujan diperlukan untuk memantau perkembangan kondisi lereng sehingga potensi longsor dapat diantisipasi lebih dini.

c. Zona Prioritas Penanganan Segmen 3

Segmen 3 menunjukkan karakteristik kerawanan yang berbeda dibandingkan Segmen 2. Pada bagian awal segmen masih didominasi oleh kelas kerawanan tinggi, kemudian secara bertahap mengalami transisi menjadi kerawanan sedang dan berakhir pada kelas kerawanan rendah. Meskipun demikian, secara keseluruhan kelas kerawanan tinggi masih mendominasi sepanjang segmen sehingga Segmen 3 tetap dikategorikan sebagai Zona Prioritas I**.**

Perubahan tingkat kerawanan pada segmen ini menunjukkan adanya variasi kondisi fisik lereng sepanjang ruas jalan. Oleh karena itu, strategi penanganan perlu disesuaikan dengan distribusi tingkat kerawanan. Pada bagian yang masih berada pada kelas kerawanan tinggi diperlukan penguatan lereng, peningkatan kapasitas drainase, revegetasi, dan pengendalian erosi.

Sementara itu, pada bagian yang telah berada pada kelas kerawanan sedang hingga rendah, tindakan yang dilakukan lebih difokuskan pada pemeliharaan rutin dan monitoring berkala untuk mempertahankan kondisi lereng tetap stabil.

Tabel 4.58 Rekomendasi Penanganan Berdasarkan Zona Prioritas

Segmen	Zona Prioritas	Rekomendasi Penanganan
1	**Prioritas II**	Pemeliharaan drainase, pengendalian limpasan permukaan, pengendalian erosi, pemeliharaan bahu jalan, revegetasi, dan monitoring berkala.
2	**Prioritas I**	Dinding penahan tanah, bronjong atau perkuatan lereng, peningkatan drainase, revegetasi, rambu peringatan, dan monitoring intensif.
3	**Prioritas I**	Penguatan lereng pada zona kerawanan tinggi, peningkatan drainase, revegetasi, pengendalian erosi, serta pemeliharaan rutin pada zona kerawanan sedang dan rendah.

Sumber. Hasil Analisis Penulis (2026)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi metode AHP dan GIS mampu menghasilkan informasi spasial yang tidak hanya menggambarkan tingkat risiko longsor, tetapi juga mendukung penyusunan rekomendasi penanganan berdasarkan tingkat prioritas. Pembobotan menggunakan metode AHP memberikan dasar kuantitatif dalam menentukan tingkat kepentingan setiap parameter bahaya, kerentanan, dan keterpaparan, sedangkan analisis GIS mengintegrasikan seluruh parameter tersebut sehingga menghasilkan peta kerawanan yang menggambarkan kondisi aktual sepanjang ruas jalan penelitian.

Interpretasi terhadap peta kerawanan menunjukkan bahwa Segmen 2 dan Segmen 3 merupakan lokasi yang memerlukan penanganan lebih awal karena didominasi oleh kelas risiko tinggi, sedangkan Segmen 1 memerlukan upaya pengendalian melalui tindakan preventif karena didominasi oleh kelas kerawanan sedang. Perbedaan karakteristik kerawanan pada setiap segmen menunjukkan bahwa penanganan tidak dapat dilakukan secara seragam, tetapi harus disesuaikan

dengan kondisi kerawanan yang berkembang pada masing-masing lokasi.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil mengintegrasikan hasil pembobotan AHP dan analisis GIS menjadi rekomendasi teknis berupa zona prioritas penanganan pada setiap segmen jalan. Informasi tersebut dapat dimanfaatkan oleh instansi terkait sebagai dasar dalam menentukan urutan penanganan, penyusunan program pemeliharaan, serta pelaksanaan mitigasi bencana longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang secara lebih efektif, efisien, dan berbasis tingkat risiko.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai kajian risiko infrastruktur Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang, Kabupaten Bulungan, menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Geographic Information System* (GIS), maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Tingkat risiko longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara di kawasan Sungai Urang ditentukan melalui integrasi variabel bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), dan keterpaparan (*exposure*) menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Berdasarkan hasil integrasi variabel bahaya, kerentanan, dan keterpaparan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Sistem Informasi Geografis* (GIS) melalui proses *Weighted Overlay*, diperoleh nilai indeks risiko longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara berkisar antara 4,54 hingga 5,39. Berdasarkan klasifikasi menggunakan metode *Equal Interval*, nilai tersebut terbagi menjadi tiga kelas tingkat risiko, yaitu ***risiko rendah (4,54–4,82), risiko sedang (>4,82–5,10), dan risiko tinggi (>5,10–5,39).***
Dari hasil integrasi keseluruhan sehingga menghasilkan peta menunjukkan bahwa Segmen 1 didominasi kelas risiko rendah, Segmen 2 didominasi kelas risiko tinggi, sedangkan Segmen 3 berada pada kelas risiko sedang hingga tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat risiko longsor pada ruas jalan penelitian bervariasi sesuai dengan karakteristik bahaya, kerentanan, dan keterpaparan di setiap segmen.

2. Distribusi spasial tingkat risiko longsor pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara berhasil diidentifikasi menggunakan *Geographic Information System* (GIS) melalui analisis *Weighted Overlay* berdasarkan hasil pembobotan AHP dan skoring setiap variabel. Hasil pemetaan menunjukkan tiga kelas risiko, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Zona risiko tinggi berada pada bagian tengah ruas jalan (Segmen 2), zona risiko sedang berada pada bagian utara dan sebagian selatan ruas jalan, sedangkan zona risiko rendah berada pada bagian ujung selatan ruas jalan. Peta risiko tersebut menunjukkan bahwa distribusi tingkat risiko longsor dipengaruhi

oleh kombinasi faktor bahaya, kerentanan, dan keterpaparan yang telah dianalisis pada penelitian ini.

3. Zona prioritas penanganan ditetapkan berdasarkan interpretasi hasil integrasi metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Geographic Information System* (GIS) terhadap peta tingkat risiko longsor. Ruas penelitian sepanjang 600 meter dibagi menjadi tiga segmen sebagai unit interpretasi, yaitu Segmen 1 (STA 07+854 – 08 + 054), Segmen 2 (STA 08 + 054 – 08 + 254), dan Segmen 3 (STA 08 + 254 – 08 + 6004). Berdasarkan hasil interpretasi tersebut, Segmen 1 ditetapkan sebagai Zona Prioritas II karena didominasi oleh tingkat risiko sedang, sedangkan Segmen 2 dan Segmen 3 ditetapkan sebagai Zona Prioritas I karena didominasi oleh tingkat risiko tinggi. Oleh karena itu, penanganan pada Segmen 1 diarahkan pada tindakan preventif melalui pemeliharaan drainase, pengendalian erosi, revegetasi, dan monitoring berkala. Sementara itu, Segmen 2 dan Segmen 3 memerlukan penanganan yang lebih intensif melalui stabilisasi lereng, pembangunan bangunan pengaman lereng, peningkatan sistem drainase, revegetasi, pemasangan rambu peringatan daerah rawan longsor, serta monitoring secara berkelanjutan. Dengan demikian, integrasi metode AHP dan GIS tidak hanya mampu menghasilkan pemetaan tingkat risiko longsor, tetapi juga memberikan dasar yang objektif dalam penentuan zona prioritas penanganan sebagai acuan penyusunan strategi mitigasi dan pemeliharaan infrastruktur jalan di Kabupaten Bulungan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemui selama pelaksanaan penelitian, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Penelitian ini menggunakan 12 parameter yang mewakili variabel bahaya, kerentanan, dan keterpaparan. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan parameter lain yang berpengaruh terhadap risiko longsor, seperti kondisi geoteknik tanah, curah hujan aktual harian, muka air tanah, kondisi hidrologi, maupun data deformasi lereng sehingga hasil analisis dapat menggambarkan kondisi lapangan secara lebih komprehensif.

2. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan dalam memperoleh beberapa data pendukung dari instansi terkait, seperti Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR), serta Dinas Lingkungan Hidup (DLH). Oleh karena itu, penelitian selanjutnya diharapkan dapat menjalin koordinasi yang lebih intensif dengan instansi terkait agar memperoleh data yang lebih lengkap, mutakhir, dan terverifikasi sehingga hasil analisis risiko longsor menjadi lebih akurat.
3. Pembobotan parameter pada penelitian ini menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) berdasarkan penilaian lima responden ahli. Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan jumlah responden yang lebih banyak dan memiliki latar belakang keahlian yang beragam agar hasil pembobotan lebih representatif serta dapat mengurangi subjektivitas dalam proses penilaian.
4. Analisis spasial dilakukan menggunakan metode *Weighted Overlay* pada *Geographic Information System* (GIS) dengan data yang tersedia pada saat penelitian. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data dengan resolusi spasial yang lebih tinggi, memperbarui data secara berkala, serta melakukan validasi menggunakan data kejadian longsor aktual agar tingkat akurasi peta risiko dapat ditingkatkan.
5. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan kajian ini melalui analisis stabilitas lereng, perencanaan bangunan pengaman lereng, evaluasi sistem drainase, serta analisis biaya penanganan sehingga rekomendasi yang dihasilkan dapat diterapkan secara lebih optimal.
6. Pemerintah Kabupaten Bulungan beserta instansi terkait diharapkan dapat memanfaatkan hasil penelitian ini sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam penyusunan kebijakan mitigasi bencana, pemeliharaan infrastruktur jalan, serta penentuan prioritas penanganan pada ruas Jalan Poros Trans Kalimantan Utara guna mengurangi risiko longsor dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan.

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO. 2011. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials. *https://highways.dot.gov/safety/pedestrian-bicyclist/safety-tools/417-policy-geometric-design-highways-and-streets-6th*

Arikunto, S. (2013). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2012, 12 Januari). *Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana*. Jakarta: BNPB. *https://jdih.bnpb.go.id/dokumen/Peraturan/perka-nomor-2-tahun-2012*

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2020). *Pedoman Penanggulangan Bencana Tanah Longsor*. Jakarta: BNPB. *https://jdih.bnpb.go.id/storage/file/2025pbbnpb001.pdf*

Badan Pusat Statistik. (2024). *Kabupaten Banjar Dalam Angka 2024*. Kabupaten Banjar: BPS. Saputra, D. A., dkk. (2019). Analisis kondisi jalan menggunakan metode Bina Marga. *Jurnal Fakultas Teknik Sipil*, 6(1).

Badan Standardisasi Nasional. (2004). *SNI 03-6967-2003 Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*. Jakarta: BSN. *https://binamarga.pu.go.id/?utm_source*

Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change, 18*(4), 598–606. *https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013*

Direktorat Jenderal Bina Marga. (1990). *Tata Cara Penyusunan Program Pemeliharaan Jalan Kota*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga. *https://binamarga.pu.go.id/?utm_source*

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *https://binamarga.pu.go.id/?utm_source*

Esri. (2024). *ArcGIS Pro Documentation*. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute. *https://doc.esri.com/en/arcgis-pro/latest/*

Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*. *https://doi.org/10.1080/02693799208901901*

Hardiyatmo, H. C. (2012). *Tanah Longsor dan Erosi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. *https://ugmpress.ugm.ac.id/id*

Kementer ian Pekerjaan Umum. (2011). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan*. Jakarta.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). *Pedoman Desain Geometrik Jalan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.

Kurnia, F. V., Said, & Sumiyattinah. (2023). Pengaruh kondisi drainase terhadap kinerja perkerasan jalan (Studi kasus ruas Jalan Akcaya II dan Jalan M. Saad Kabupaten Sintang). *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 10(2).

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan.

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. (2019). *Informasi Gerakan Tanah dan Mitigasi Bencana Geologi*. Bandung: PVMBG. *https://geologi.esdm.go.id/perpustakaan/?p=show_detail&id=39953&keywords*

Rhoma, B. H., dkk. (2023). Evaluasi perkerasan menggunakan metode Bina Marga 1990 dengan metode PCI dalam penentuan pekerjaan preservasi jalan. *Teras Jurnal*, 13(2). *https://jurnal.usk.ac.id/TerasJurnal?utm*

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.

Saputra, D. A., dkk. (2019). Analisis kondisi jalan menggunakan metode Bina Marga. *Jurnal Fakultas Teknik Sipil*, 6(1). *https://jurnal.usk.ac.id/TerasJurnal?utm_*

Sitorus, et al. (2019). Analisis risiko longsor menggunakan AHP dan GIS. Diakses dari: *https://repository.usu.ac.id/*

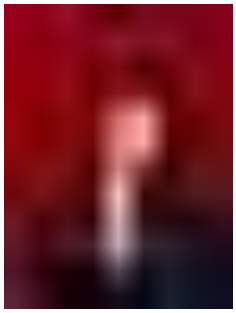
SNI 8291:2016 tentang Pedoman Analisis Risiko Bencana.

Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta *https://alfabeta.co.id?utm_*

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Jakarta: Sekretariat Negara Republik Indonesia.

UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction). (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030.* Geneva

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nur Afhifah Azahro, lahir di Tanjung Selor, 16 Agustus 2004, merupakan Putri keempat Alm. Bapak Syamsul Bahar dan Ibu Ainun Salbiah, Lulus Taman Kanak-kanak Kartini Tarakan Tahun 2010, Lulus Sekolah Dasar Negeri Nomor 001 Tana Tidung tahun 2016, Sekolah Menengah Pertama Terpadu Unggulan 1 Tana Tidung lulus tahun 2019, Sekolah Menengah Atas Negeri Terpadu Unggulan 1 Tana Tidung Jurusan IPA lulus tahun 2022. Pada tahun 2022, masuk Perguruan Tinggi jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kaltara Tanjung Selor.

Dari bulan April s/d Juli 2025 melaksanakan Kuliah Kerja Praktik pada Cv. Bumi Mas Benuanta di Kecamatan Tanjung Selor. Bulan Agustus s/d September 2025 melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN-BBM) di Desa Punan Dulau Kecamatan Sekatak.

Tempat tinggal di jalan Ir. Salmon Tideng Pale Timur, Kecamatan Sesayap, Kabupaten Tana Tidung, Kalimantan Utara.

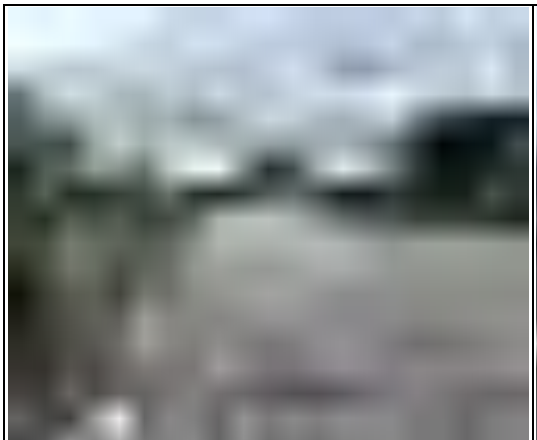
LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Kegiatan Observasi Lapangan

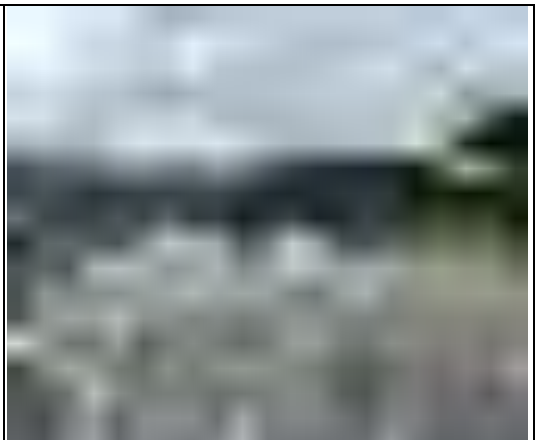




Lampiran 2. Dokumentasi Penentuan Segmen



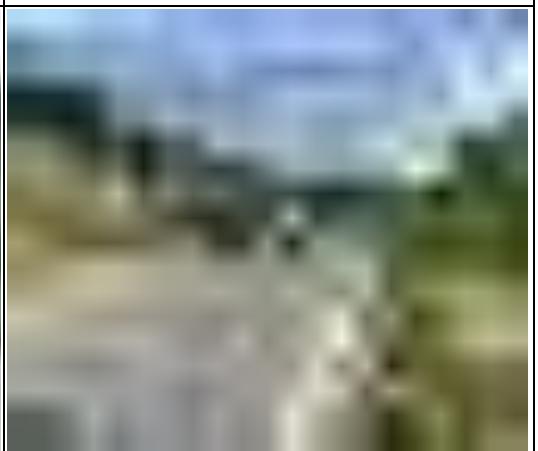
SEGMEN 1 STA 07 + 854



SEGMEN 2 STA 08 + 054

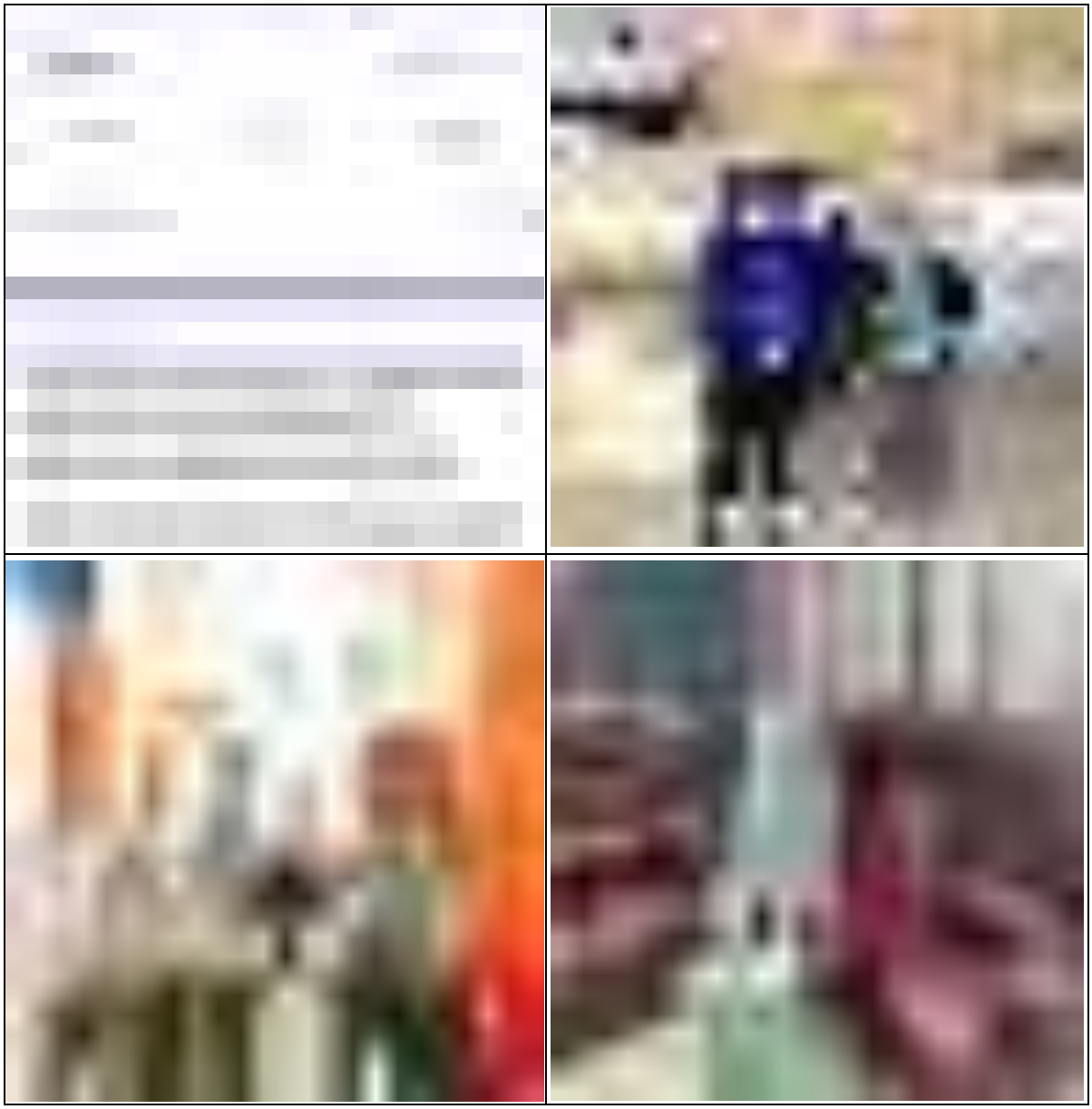


TITIK LONGSOR STA 08 + 604



SEGMEN 3 STA 08 + 454

Lampiran 3. Dokumentasi Pengisian Kuesioner



Lampiran 4. Dokumentasi Menghitung LHR

HARI KE – 1	
	
HARI KE - 2	
	
HARI KE - 3	
	

Lampiran 5. Dokumentasi Format Kuesioner dari Lima Responden



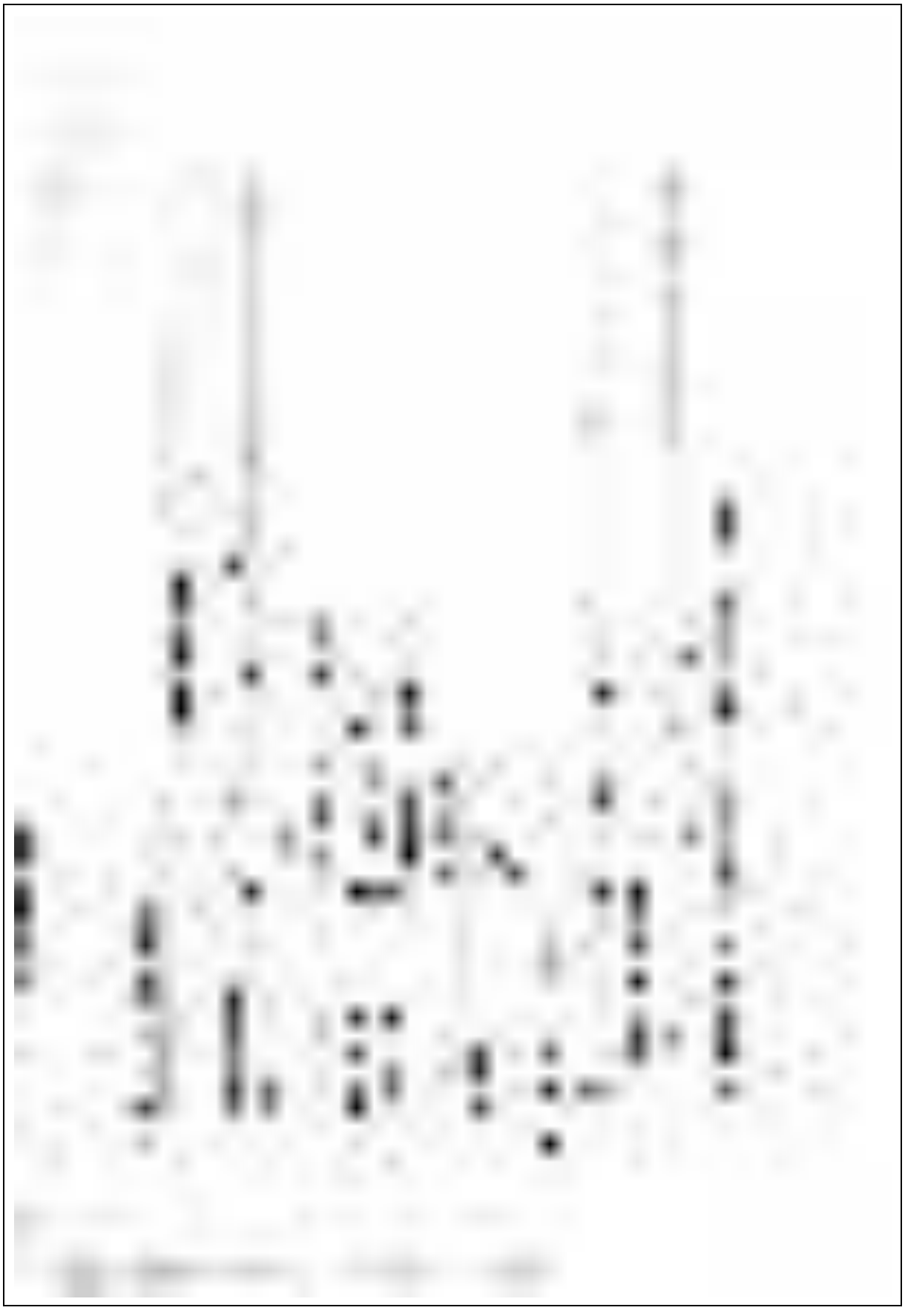










































Lampiran 6. Dokumentasi Data Survei LHR













Lampiran 7. Dokumentasi Laporan Kejadian Bencana dari BPBD Daerahp







Lampiran 8. Dokumentasi Surat Izin Permohonan Data dan Izin Penelitian di Beberapa Kantor









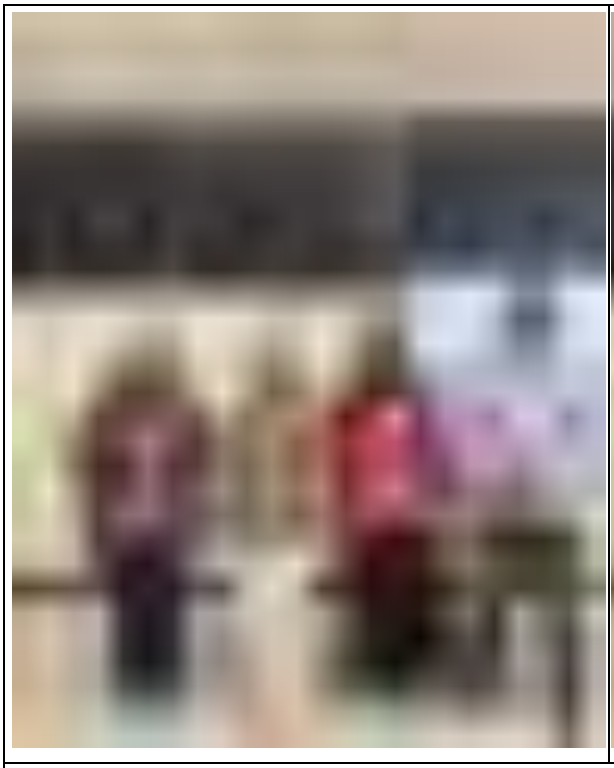






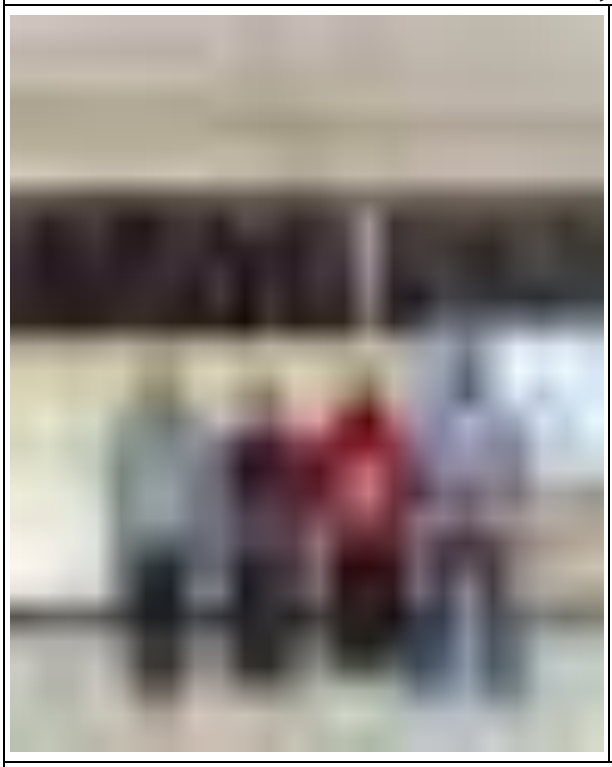


Lampiran 9. Dokumentasi Ujian Skripsi

<table>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">UJIAN SEMINAR PROPOSAL
HARI SELASA, 19 MEI 2026</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
</table>



UJIAN SEMINAR HASIL
HARI JUMAT, 3 JULI 2026





UJIAN SIDANG AKHIR
HARI RABU, 15 JULI 2026