OPEN ACCESS

JPK

Jurnal Pengembangan Kota (2026)
Volume 14 No.1 (97–121)
http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jpk
DOI:10.14710/jpk.14.1.97-121

KAJIAN RISIKO DAN PERUMUSAN KEBIJAKAN ADAPTASI PENGURANGAN RISIKO BENCANA TANAH LONGSOR DI KOTA BATU

M. Farry Adistio[1], Jeriko Agustinus[2]*, Herwin Sutrisno[3], Theresia Susi[3], Leonel Azra[4]

[1]Biro Pemerintahan dan Otonomi Sekretariat Daerah Provinsi Jawa Barat, Bandung, Indonesia
[2]Program Studi Magister Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
[3]Program Studi Magister Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, Indonesia
[4]Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

Abstrak. Bencana tanah longsor merupakan ancaman kronis di Kota Batu akibat topografi pegunungan dan intensifikasi pemanfaatan ruang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat bahaya, kerentanan, dan risiko tanah longsor pada tahun 2025 serta proyeksinya pada tahun 2040, sekaligus merumuskan strategi adaptasi Pengurangan Risiko Bencana (PRB) yang terintegrasi dengan penataan ruang. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif-spasial berbasis Geographic Information System (GIS) dan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) dengan mengacu pada pedoman teknis Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) serta kerangka evaluasi kebijakan multipihak. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting, luas wilayah berkategori risiko tinggi mencapai 6.946,33 ha dan diproyeksikan meningkat menjadi 7.919,71 ha pada tahun 2040 akibat kenaikan kerentanan sosial, ekonomi, dan fisik. Strategi adaptasi dirumuskan secara terstruktur berbasis tipologi risiko wilayah melalui kombinasi intervensi struktural (pembangunan penahan longsor, LEWS, drainase) dan non-struktural (*zoning regulation*, Desa/Kelurahan Tangguh Bencana, dan penguatan kapasitas komunitas).

Kata Kunci : Tanah Longsor; Kajian Risiko Spasial; Strategi Adaptasi; Pengurangan Risiko Bencana; Kota Batu

[Title: LANSLIDE DISASTER RISK ASSESSMENT AND ADAPTATION POLICY FORMULATION FOR DISASTER RISK REDUCTION IN BATU CITY]. *Landslides are a chronic threat in Batu City due to mountainous topography and intensification of land use. This study aims to analyze the level of landslide hazard, vulnerability, and risk in 2025 and its projection in 2040, while simultaneously formulating an adaptation strategy for Disaster Risk Reduction (DRR) integrated with spatial planning. This research method applies a quantitative-spatial method based on Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) with reference to the technical guidelines of the National Disaster Management Agency (BNPB) and a multi-stakeholder policy evaluation framework. The analysis results show that under existing conditions, the area categorized as high risk reaches 6,946.33 ha and is projected to increase to 7,919.71 ha in 2040 due to increased social, economic, and physical vulnerability. The adaptation strategy is formulated in a structured manner based on the typology of regional risks through a combination of structural interventions (landslide retaining walls, LEWS, drainage) and non-structural (zoning regulations, Disaster Resilient Villages/Sub-districts, and community capacity building).*

Keywords: *Landslides; Spatial Risk Assessment; Adaptation Strategy; Disaster Risk Reduction; Batu City*

Cara Mengutip : Adistio, M. Farry., Agustinus, Jeriko., Sutrisno, Herwin., Susi, Theresia., & Azra, Leonel. (2026). KAJIAN RISIKO DAN PERUMUSAN KEBIJAKAN ADAPTASI PENGURANGAN RISIKO BENCANA TANAH LONGSOR DI KOTA BATU. **Jurnal Pengembangan Kota**. Vol 14 (1): 97-121. DOI: 10.14710/jpk.14.1.97-121

1. PENDAHULUAN

Bencana tanah longsor merupakan salah satu jenis bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia dan sangat dipengaruhi oleh topografi, pola curah hujan, dan perubahan iklim (Guzzetti et al., 2012; Petley, 2012). Tanah longsor adalah pergerakan massa batuan atau tanah yang bergerak akibat gaya gravitasi yang menarik ke bawah disertai dengan adanya gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada material bawaan (McColl, 2022). Tanah longsor merupakan salah satu bencana hidrometerologi dan geologi yang sering terjadi dengan jumlah korban jiwa dan kerugian material yang cukup besar (Jakob, 2022).

Bencana tanah longsor dapat disebabkan oleh dua faktor, yaitu faktor alam berupa curah hujan (Salunkhe et al., 2022), kemiringan lereng dan kondisi tanah (Paronuzzi et al., 2022), dan faktor manusia (Skilodimou et al., 2018) berupa pemanfaatan tanah yang kurang memperhatikan kondisi fisik wilayah. Selain faktor alamiah, longsor juga dapat disebabkan oleh adanya aktivitas manusia yang mempengaruhi bentang alam, seperti kegiatan pertanian, pembebanan lereng dan penambangan (Nguyen et al., 2013; Persichillo et al., 2018). Faktor pemicu utama longsor di wilayah berlereng adalah intensitas curah hujan yang tinggi, yang kerap dikaitkan dengan dinamika iklim regional dan global yang berubah akibat pemanasan global (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023).

Indonesia memiliki karakter geografis dan topografis yang kompleks, menjadikannya sangat rentan terhadap ancaman bencana alam termasuk tanah longsor. Secara nasional, kejadian tanah longsor menunjukkan tren peningkatan frekuensi bersamaan dengan perubahan pola curah hujan yang lebih intens dan ekstrem di berbagai wilayah (BNPB, 2023). Hal ini sesuai dengan prediksi perubahan iklim yang menunjukkan adanya peningkatan intensitas hujan ekstrem di Indonesia dalam beberapa dekade terakhir (BMKG, 2021).

Kota Batu, yang terletak di Provinsi Jawa Timur, merupakan wilayah dengan karakteristik morfologi pegunungan yang didominasi oleh lereng curam hingga sangat curam. Kondisi fisik tersebut diperkuat oleh pola pemanfaatan ruang yang berkembang mengikuti kontur lereng, terutama untuk permukiman, pertanian, dan aktivitas pariwisata. Kombinasi antara faktor alamiah dan tekanan pemanfaatan lahan ini menjadikan Kota Batu sebagai wilayah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap bencana tanah longsor.

Data historis bencana menunjukkan bahwa tanah longsor merupakan bencana yang paling dominan di Kota Batu. Berdasarkan infografis BPBD Kota Batu, pada tahun 2022 tercatat sebanyak 203 kejadian bencana, dengan tanah longsor sebagai jenis kejadian terbanyak, serta konsentrasi kejadian tertinggi berada di Kecamatan Bumiaji. Tren ini berlanjut pada tahun-tahun berikutnya, di mana pada tahun 2024 tercatat 56 kejadian tanah longsor, dan hingga November 2025 jumlah kejadian longsor telah mencapai 98 kejadian, kembali dengan dominasi kejadian di wilayah perbukitan Bumiaji. Pola ini menunjukkan bahwa tanah longsor di Kota Batu bersifat berulang dan tidak insidental, melainkan merupakan ancaman yang kronis dan terdistribusi secara spasial.

Kerentanan terhadap bencana tanah longsor di Kota Batu tidak hanya dipengaruhi oleh faktor fisik wilayah, tetapi juga oleh kondisi sosial, ekonomi, dan lingkungan. Perkembangan permukiman di kaki lereng dan sepanjang jalur potensi runout meningkatkan potensi korban dan kerusakan aset ketika longsor terjadi. Selain itu, ketergantungan ekonomi daerah terhadap sektor berbasis lahan, seperti pertanian dan kehutanan, menyebabkan

ISSN 2337-7062 *© 2026 by Authors,*
Published by Universitas Diponegoro Publishing Group.
This open-access article is distributed under the CC-BY-NC-SA license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

*Email: jerikoagustinus12@gmail.com

Submitted 15 February 2026, accepted 30 July 2026

dampak longsor berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan dan mengganggu mata pencaharian masyarakat.

Berdasarkan kondisi tersebut, penyusunan kajian risiko bencana tanah longsor di Kota Batu menjadi sangat penting untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai tingkat dan sebaran bahaya, kerentanan, serta kapasitas wilayah. Informasi risiko yang disusun secara spasial dan berbasis data ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi pemerintah daerah dalam merumuskan kebijakan adaptasi dan strategi pengurangan risiko bencana tanah longsor yang tepat sasaran, terukur, dan selaras dengan kebijakan nasional serta komitmen global dalam mewujudkan pembangunan wilayah yang tangguh dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Analisis Bahaya

Analisis bahaya bencana tanah longsor dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat potensi kejadian longsor berdasarkan karakteristik fisik wilayah, khususnya kondisi lereng dan potensi pergerakan material longsoran, kondisi geologi/kerentanan gerakan tanah, serta jangkauan aliran material rombakan (runout) (Bui et al., 2023; Chaabane et al., 2024; McColl, 2022). Prosedur pemodelan bahaya mengacu pada Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana dan Metode yang digunakan mengacu pada Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Tanah Longsor yang diterbitkan oleh BNPB pada tahun 2019, dengan pendekatan spasial berbasis Geographic Information System (GIS) serta dengan pendekatan GIS-MCDA pada literatur pemetaan bahaya longsor terkini (Das et al., 2022; Goumrasa et al., 2021; Hasan et al., 2024) dan analisis raster grid resolusi minimal 30 × 30 meter. Pedoman teknis BNPB (2019) tetap relevan dan digunakan sebagai acuan standar nasional karena mampu mengintegrasikan zona sumber faktor kemiringan lereng, zona kerentanan gerakan tanah, dan potensi material longsoran (runout) untuk menghasilkan Indeks Bahaya Tanah Longsor. Terkait kebutuhan data analisis yang dibutuhkan dalam analisis tanah longsor terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Data Analisis Bahaya Tanah Longsor

No	Jenis Data	Bentuk Data	Sumber
1	Batas Administrasi	GIS Vektor (Polygon)	BIG
2	DEM 30 meter	Raster	BIG
3	Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah	GIS Vektor (Polygon)	Kementerian ESDM - PVMBG

Sumber : BNPB (2019)

2.1.1 Analisis Kemiringan Lereng

Tahapan awal analisis bahaya adalah penyusunan peta kemiringan lereng yang dihitung dari DEM menggunakan fungsi slope dalam satuan persen (Das et al., 2022). Kemiringan lereng mengontrol gaya geser gravitasi terhadap ketahanan geser massa tanah dan batuan (McColl, 2022). Berdasarkan pedoman teknis BNPB (2019), pada Tabel 2, dimana kemiringan lereng kemudian diklasifikasikan ke dalam 4 kelas:

Tabel 2. Klasifikasi Kemringan Lereng

No	Kemiringan Lereng	Kelas
1	< 15%	Landai
2	15–25%	Agak Curam
3	25–45%	Curam
4	45%	Terjal

Sumber : BNPB (2019)

Klasifikasi ini digunakan untuk mengidentifikasi area yang berpotensi mengalami ketidakstabilan lereng. Dalam modul BNPB diasumsikan bahwa tanah longsor berpotensi terjadi pada lereng dengan kemiringan >15% (BNPB, 2019).

2.1.2 Analisis Zona Potensi Tanah Longsor

Zona potensi tanah longsor diidentifikasi melalui tumpang-susun (spatial overlay) antara parameter kelas kemiringan lereng (>15%) dan Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah (ZKGT) dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) (BNPB, 2019; Hasan et al., 2024). ZKGT diklasifikasikan menjadi 3 kelas, yaitu rendah, menengah, dan tinggi, yang masing-masing diberi skor numerik. Hasil penggabungan kedua parameter tersebut menghasilkan peta zona

potensi longsor yang merepresentasikan tingkat kerentanan terjadinya longsor secara spasial.

2.1.3 Analisis Zona Potensi Runout

Analisis runout dilakukan untuk memetakan potensi area landaan material longsoran khususnya untuk tipe longsor dangkal dan aliran bahan rombakan, pemodelan bahaya dilengkapi dengan analisis zona potensi runout (BNPB, 2019; McColl, 2022). Sumber potensi longsor ditentukan pada area dengan lereng sangat curam (>45%) dan zona kerentanan gerakan tanah menengah hingga tinggi. Selanjutnya, arah dan jarak pergerakan material longsor dimodelkan menggunakan algoritma berbasis arah aliran (flow direction) guna menghasilkan peta zona potensi runout.

2.1.4 Penyusunan Indeks Bahaya Tanah Longsor

Indeks Bahaya Tanah Longsor (H) dihitung dengan menggabungkan skor zona potensi longsor dan skor zona potensi runout menggunakan persamaan berbobot sebagai berikut:

$$H = 0{,}6 \times \text{Skor Runout} + 0{,}4 \times \text{Skor Zona Longsor}$$

Pemberian bobot 0,6 pada zona potensi runout dan 0,4 pada zona potensi longsor mencerminkan besarnya. terhadap konsentrasi permukiman dan infrastruktur di sepanjang kaki lereng (BNPB, 2019; McColl, 2022). Alur proses analisis indeks bahaya tanah longsor dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber : BNPB (2019)

Gambar 1. Alur Proses Analisis Indeks Bahaya Tanah Longsor

2.2 Metode Analisis Kerentanan

Analisis kerentanan dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat ketidakmampuan masyarakat dan wilayah dalam menghadapi bahaya tanah longsor. Metode yang digunakan mengacu pada Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Tanah Longsor yang diterbitkan oleh BNPB, dengan pendekatan analisis spasial berbasis *Multi Criteria Decision Analysis (MCDA).*

Sejalan dengan kerangka penilaian kerentanan spasial multiskala (Majumder et al., 2023; Tran et al., 2024) dan pedoman teknis BNPB (2019), Kerentanan dianalisis secara spasial dengan menggabungkan beberapa komponen kerentanan yang masing-masing terdiri dari sejumlah parameter penyusun. Seluruh proses analisis dilakukan menggunakan sistem informasi geografis

(GIS) berbasis raster. Berdasarkan modul BNPB, kerentanan bencana tanah longsor terdiri dari 4 komponen utama, yaitu:

1. Kerentanan Sosial
2. Kerentanan Fisik
3. Kerentanan Ekonomi
4. Kerentanan Lingkungan

Keempat komponen tersebut (lihat Tabel 3) dianalisis secara terpisah dan kemudian digabungkan untuk menghasilkan Indeks Kerentanan Total.

Tabel 3. Kebutuhan Data Analisis Kerentanan

No	Kerentanan	Jenis Data	Sumber
1	Sosial	Kepadatan Penduduk	BPS
		Rasio Jenis Kelamin	BPS
2	Fisik	Sebaran Permukiman	RTRW
3	Ekonomi	Kontribusi Sektor Ekonomi	BPS
		Penggunaan Lahan Produktif	RTRW
4	Lingkungan	Kawasan Hutan	RTRW

Sumber : BNPB (2019)

Indeks kerentanan total dihitung dengan menggabungkan keempat komponen kerentanan menggunakan persamaan MCDA berbobot (BNPB, 2019), sebagai berikut:

V = 0,4 x $V\,s$ + 0,25 x $V\,f$ + 0,25 x $V\,e$ + 0,1 x $V\,l$

di mana :

V= indeks kerentanan total,
Vs= indeks kerentanan sosial,
Vf= indeks kerentanan fisik,
Ve= indeks kerentanan ekonomi,
Vl= indeks kerentanan lingkungan.

2.3 Metode Analisis Kapasitas

Analisis kapasitas dilakukan untuk mengukur kemampuan kelembagaan pemerintah daerah dan ketangguhan komunitas dalam memitigasi, bersiap siaga, merespons, dan pulih dari dampak bencana tanah longsor (Alcántara-Ayala, 2021; BNPB, 2019, 2021, 2023; Rofiah et al., 2021). Metode yang digunakan mengacu pada Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Tanah Longsor yang diterbitkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dengan pendekatan indeks kapasitas berbasis indikator dan analisis spasial berbasis GIS. Kapasitas daerah dalam menghadapi bencana tanah longsor terdiri dari dua komponen utama, yaitu:

a. Indeks Ketahanan Daerah (IKD)

Ketahanan daerah dianalisis untuk menilai kapasitas struktural dan kelembagaan pemerintah daerah dalam pengurangan risiko bencana. Parameter yang digunakan mencakup:

- Keberadaan regulasi dan kebijakan penanggulangan bencana;
- Integrasi pengurangan risiko bencana dalam dokumen perencanaan tata ruang;
- Ketersediaan anggaran kebencanaan;
- Kelembagaan dan sumber daya BPBD;
- Sistem peringatan dini dan prosedur operasional standar (SOP).

b. Indeks Kesiapsiagaan Masyarakat (IKM)

Kesiapsiagaan masyarakat dianalisis untuk menilai kemampuan komunitas dalam merespons ancaman tanah longsor secara cepat dan efektif. Parameter yang digunakan meliputi:

- Tingkat pengetahuan dan kesadaran masyarakat terhadap risiko longsor;
- Keberadaan rencana kontinjensi dan jalur evakuasi;
- Partisipasi masyarakat dalam pelatihan dan simulasi kebencanaan;
- Keberadaan kelompok relawan atau desa tangguh bencana;
- Sistem komunikasi darurat di tingkat lokal.

Indeks kapasitas total dihitung dengan menggabungkan indeks ketahanan daerah dan indeks kesiapsiagaan masyarakat menggunakan pendekatan penjumlahan berbobot sebagai berikut:

$$C = 0{,}5 \cdot Cd + 0{,}5 \cdot Cm$$

di mana:

C : indeks kapasitas total,
Cd : indeks ketahanan daerah, dan
Cm: indeks kesiapsiagaan masyarakat.

2.4 Metode Analisis Risiko

Analisis risiko bencana tanah longsor mengintegrasikan komponen bahaya (H), kerentanan (V), dan kapasitas (C) untuk mengestimasi tingkat potensi kerugian wilayah

(Chaabane et al., 2024; Novellino et al., 2021; Tran et al., 2024). Analisis risiko bencana tanah longsor dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat potensi kerugian yang mungkin timbul akibat kejadian tanah longsor pada suatu wilayah dan periode tertentu. Metode yang digunakan mengacu pada Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Tanah Longsor yang diterbitkan oleh BNPB (2019), dengan pendekatan kuantitatif–spasial berbasis indeks. Secara konseptual, risiko bencana dipahami sebagai fungsi dari bahaya *(hazard),* kerentanan *(vulnerability),* dan kapasitas *(capacity),* di mana kapasitas berperan sebagai faktor pengurang risiko (BNPB, 2019; Tran et al., 2024). Risiko bencana tanah longsor dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{R} = (\boldsymbol{H} \times \boldsymbol{V})/\boldsymbol{C}$$

di mana:
R : indeks risiko bencana tanah longsor,
H : indeks bahaya tanah longsor,
V : indeks kerentanan, dan
C : indeks kapasitas.

2.5 Metode Perumusan Strategi Adaptasi, Rencana Aksi, Analisis Keselarasan Kebijakan, dan Pemetaan RAM-IP

Perumusan kebijakan dan strategi adaptasi pengurangan risiko bencana (PRB) tanah longsor disusun melalui empat tahapan metodologis berjenjang untuk menjembatani hasil pemodelan spasial dengan instrumen perencanaan pembangunan daerah (Alcántara-Ayala, 2021; Handmer & Dovers, 2012; Stead, 2021; USAID Adapt Asia-Pacific et al., 2015), sebagai berikut:

1. Klasifikasi Tipologi Transisi Risiko dan Evaluasi Tujuh Kriteria Kebijakan

Tahap pertama adalah pengelompokan 24 desa/kelurahan ke dalam 4 klaster tipologi transisi risiko berdasarkan matriks persilangan antara kelas risiko kondisi tahun 2025 dan kelas risiko proyeksi tahun 2040, yaitu: (a) Tipologi Risiko Tinggi–Tinggi; (b) Tipologi Risiko Rendah/Sedang–Tinggi; (c) Tipologi Risiko Tinggi/Sedang–Rendah; dan (d) Tipologi Risiko Rendah. Untuk setiap klaster tipologi, kandidat strategi adaptasi dievaluasi dan diseleksi menggunakan tujuh kriteria evaluasi kebijakan adaptasi yang diadaptasi dari kerangka USAID Adapt Asia-Pacific et al. (2015) dan Handmer and Dovers (2012), meliputi:

1. Kestrategisan (*strategic impact* terhadap penurunan risiko jangka panjang),
2. Keutamaan (*urgency* penanganan korban dan aset vital),
3. Efek Samping (minimalisasi dampak negatif ekologis/sosial),
4. Prinsip *No Regret* (tetap memberikan manfaat pembangunan meskipun skenario bencana ekstrem tidak terjadi),
5. Fleksibilitas (kemampuan penyesuaian terhadap perubahan iklim dan tata ruang),
6. Keekonomisan (efisiensi biaya investasi terhadap manfaat pengurangan kerugian), serta
7. Penerimaan Sosial dan Politik (kelayakan kelembagaan dan dukungan masyarakat).

2. Penjabaran Rencana Aksi dan Klasifikasi Struktural vs. Non-Struktural

Tahap kedua adalah menerjemahkan strategi adaptasi terpilih pada masing-masing klaster tipologi menjadi rencana aksi operasional yang kontekstual terhadap rencana aksi kontekstual yang mengacu pada kerangka kerja untuk kebijakan lingkungan keberlanjutan, Proses manajemen risiko darurat yang diperluas dan Kerangka kerja untuk analisis kebijakan dan kelembagaan dalam situasi darurat dan bencana manajemen risiko bencana dan perencanaan tata ruang (Alcántara-Ayala, 2021; Stead, 2021; United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR], 2015).

Seluruh strategi adaptasi diklasifikasikan secara matriks ke dalam dua pendekatan intervensi yaitu: (a) Adaptasi Struktural, yakni intervensi fisik untuk menahan pergerakan massa tanah, mengendalikan limpasan air, dan mendeteksi pergerakan lereng (seperti pembangunan, pemasangan Landslide Early Warning System/LEWS, jalur evakuasi, dan drainase/sumur resapan); serta (b) Adaptasi Non-Struktural, yakni instrumen kebijakan tata ruang, regulasi perizinan (zoning regulation dan Persetujuan Bangunan Gedung/PBG), konservasi vegetatif, pembentukan Desa/Kelurahan Tangguh

Bencana (Destana), dan penguatan kapasitas komunitas tanggap bencana.

3. Analisis Keselarasan Kebijakan terhadap RPJMD Kota Batu Tahun 2025–2029

Tahap ketiga adalah melakukan analisis isi kebijakan (*policy content* and *gap analysis*) dengan menyandingkan daftar strategi adaptasi struktural dan non-struktural pada setiap klaster tipologi risiko terhadap matriks program, kegiatan, dan indikator kinerja perangkat daerah yang tertuang dalam Peraturan Daerah Kota Batu Nomor 2 Tahun 2025 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Batu Tahun 2025–2029 (Pemerintah Kota Batu, 2025). Setiap strategi dikategorikan ke dalam status 'Sudah Ada' (apabila telah terakomodasi secara eksplisit dalam program/anggaran RPJMD 2025–2029) atau 'Belum Ada' (apabila belum tercantum atau masih bersifat normatif-umum sehingga menjadi celah kebijakan/policy gap yang harus diintervensi).

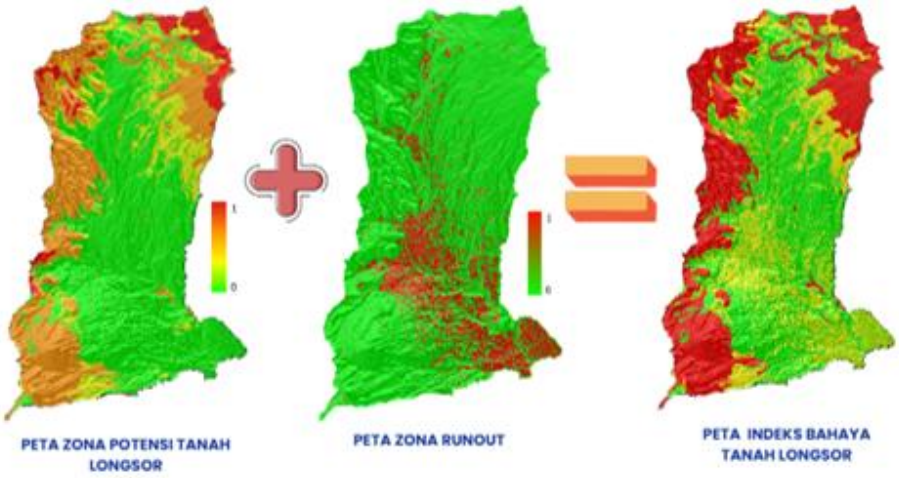
4. Pemetaan Kelembagaan Rencana Aksi Multipihak Implementasi Program/RAM-IP

Tahap keempat adalah merancang arsitektur tata kelola kolaboratif melalui metode pemetaan peran pemangku kepentingan (*stakeholder institutional mapping*) (Alcántara-Ayala, 2021; Handmer & Dovers, 2012) untuk mengoperasionalkan tujuh rekomendasi kebijakan prioritas. Pemetaan dilakukan dengan membagi tanggung jawab Organisasi Perangkat Daerah (OPD), instansi vertikal (BMKG, PVMBG, BIG), dan akademisi ke dalam diagram roda tiga lingkar konsentris): (a) Lingkar Dalam (*Oranye - Leading Sector*), yaitu perangkat daerah koordinator utama penanggung jawab agenda kebijakan (BPBD, Dinas Kominfo, DPUPR, Bappeda, dan Setda); (b) Lingkar Tengah (Biru - Pelaksana), yaitu perangkat daerah dan lembaga mitra pelaksana teknis lintas sektor di lapangan; serta (c) Lingkar Luar (Hijau - Monitoring), yaitu unsur pengawasan, pengendalian mutu, dan evaluasi akuntabilitas pelaksanaan program (Inspektorat, Setda, Bappeda, dan BP2D).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Indeks Bahaya Tanah Longsor

Analisis bahaya tanah longsor dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat potensi kejadian tanah longsor secara spasial di Kota Batu. Indeks bahaya disusun melalui tahapan analisis kelerengan, penentuan zona potensi tanah longsor, analisis zona runout, serta penggabungan seluruh parameter menjadi Indeks Bahaya Tanah Longsor (lihat Gambar 2). Pendekatan ini memungkinkan identifikasi tidak hanya lokasi sumber longsor, tetapi juga area yang berpotensi terdampak oleh pergerakan material longsoran, sehingga memberikan gambaran bahaya yang lebih komprehensif (Bui et al., 2023; McColl, 2022).



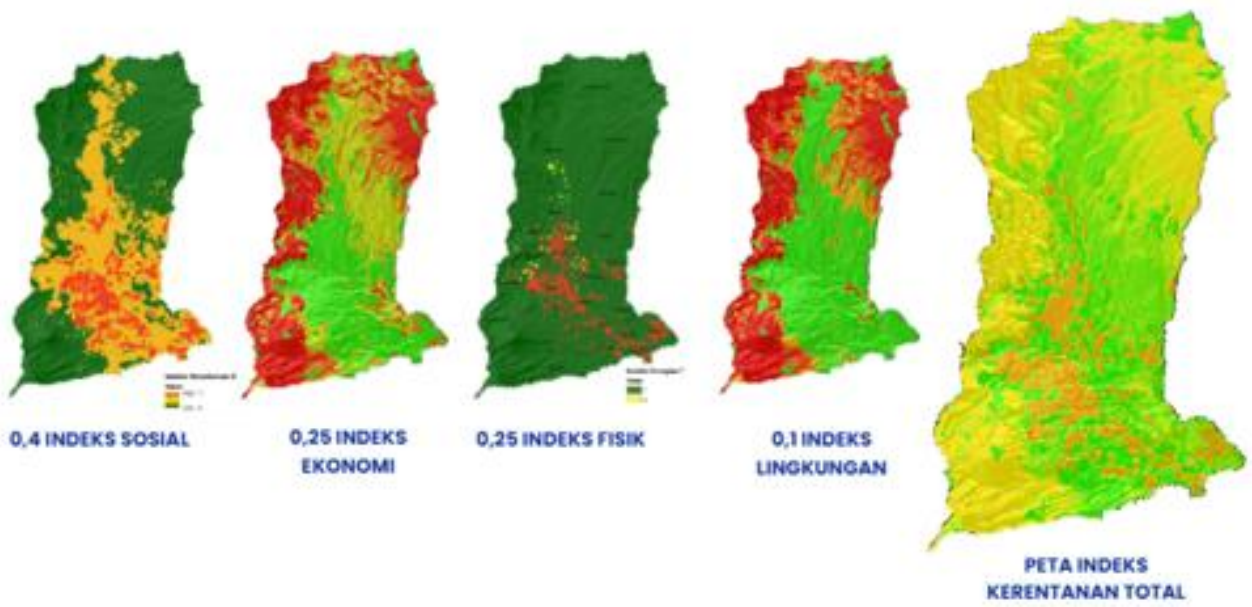
Gambar 2. Proses Penyusunan Peta Indeks Bahaya Tanah Longsor Kota Batu

Tabel 4. Kelas Bahaya Bencana Tanah Longsor Kota Batu

Kecamatan	Kelurahan/ Desa	Kelas Bahaya Tanah Longsor			Luas Total	Klasifikasi
		Rendah	Sedang	Tinggi		
Bumi Aji	Bulukerto	705,60	345,42	215,64	1.266,66	Rendah
	Bumiaji	475,74	265,95	78,66	820,35	Sedang
	Sumberbrantas	833,76	747,00	1.292,76	2.873,52	Tinggi
	Punten	108,81	54,36	92,61	255,78	Tinggi
	Tulungrejo	1.056,33	646,47	1.646,10	3.348,90	Tinggi
	Pandanrejo	252,99	111,60	10,44	375,03	Rendah
	Gunungsari	156,78	96,66	409,68	663,12	Tinggi
	Sumbergondo	584,01	392,31	391,14	1.367,46	Tinggi
	Giripurno	423,00	325,80	99,81	848,61	Sedang
Junrejo	Beji	171,00	141,66	2,88	315,54	Sedang
	Dadaprejo	53,73	121,05	-	174,78	Sedang
	Tlekung	347,31	310,50	444,51	1.102,32	Tinggi
	Junrejo	234,81	183,42	-	418,23	Sedang
	Mojorejo	63,18	128,25	0,99	192,42	Sedang
	Pendem	120,69	246,78	-	367,47	Sedang
	Torongrejo	170,37	127,98	22,77	321,12	Sedang
Batu	Pesanggrahan	180,90	192,69	287,19	660,78	Tinggi
	Sisir	265,77	203,94	40,05	509,76	Sedang
	Ngaglik	172,89	156,15	186,48	515,52	Tinggi
	Sumberejo	89,82	104,94	92,70	287,46	Tinggi
	Temas	190,26	150,84	1,26	342,36	Sedang
	Sidomulyo	76,86	172,80	-	249,66	Sedang
	Songgokerto	198,63	117,45	352,44	668,52	Tinggi
	Oro-oro Ombo	441,18	133,65	597,06	1.171,89	Tinggi
TOTAL		**7.374,42**	**5.477,67**	**6.265,17**	**19.117,26**	**Tinggi**

Penggabungan zona potensi tanah longsor dan zona runout menghasilkan Indeks Bahaya Tanah Longsor Kota Batu yang diklasifikasikan ke dalam tiga kelas, yaitu bahaya rendah, sedang, dan tinggi. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Kota Batu berada pada kelas bahaya tinggi, khususnya di Kecamatan Bumiaji dan wilayah perbukitan lainnya yang memiliki lereng curam serta potensi runout yang luas, Hal ini juga sejalan dengan temuan Goumrasa et al. (2021), Das et al. (2022), dan Chaabane et al. (2024)

Berdasarkan rekapitulasi per desa/kelurahan pada Tabel 4, Kecamatan Bumiaji memiliki kontribusi luasan bahaya tinggi terbesar, dengan beberapa desa seperti Sumberbrantas (±1.292,76 Ha) dan Tulungrejo (±1.646,10 ha) didominasi oleh kelas bahaya tinggi. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa tanah longsor merupakan ancaman dominan di Kota Batu, baik pada wilayah perbukitan sebagai zona sumber longsor maupun pada kawasan permukiman dan aktivitas ekonomi yang berada pada jalur runout. Indeks bahaya yang dihasilkan memberikan dasar spasial yang kuat untuk analisis kerentanan, kapasitas, serta perumusan strategi adaptasi pengurangan risiko bencana tanah longsor yang lebih terarah dan berbasis lokasi. Integrasi parameter runout ini mengungkap fakta spasial bahwa zona bahaya tinggi tidak hanya terbatas pada bukit tak berpenghuni, melainkan menjalar mengikuti alur lembah dan sungai menuju kawasan transisi perkotaan sebagaimana mekanisme yang ditekankan oleh McColl (2022) dan Lu et al. (2024a).



Gambar 3. Peta Indeks Bahaya Tanah Longsor Kota Batu

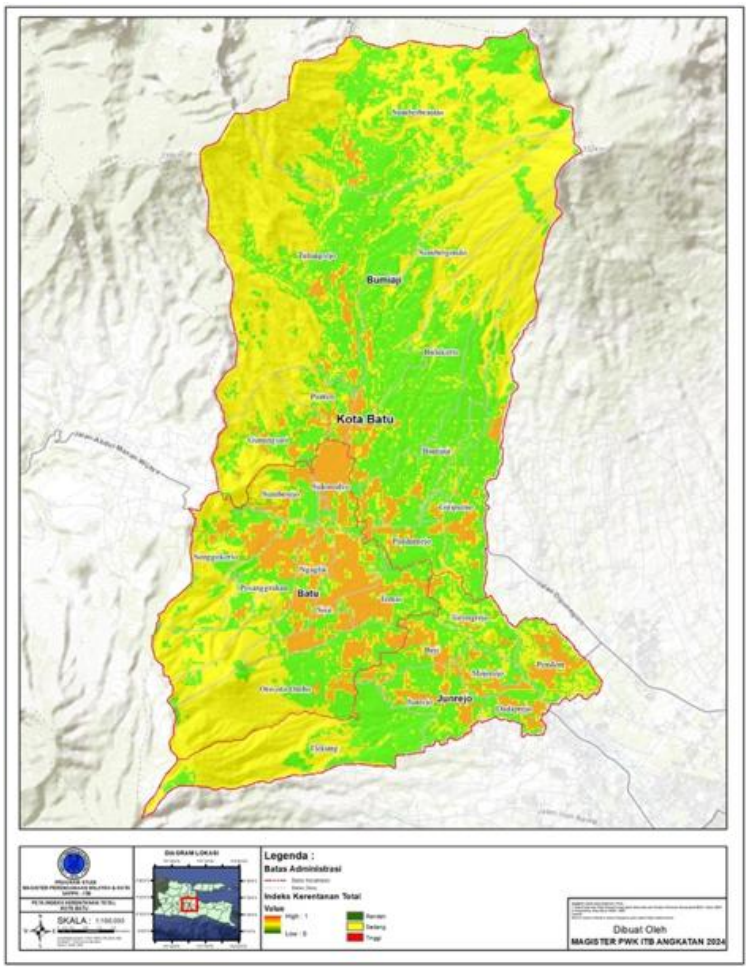
3.2 Indeks Kerentanan

Analisis kerentanan dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat ketidakmampuan sistem lingkungan, sosial, ekonomi, dan fisik di Kota Batu dalam menghadapi ancaman tanah longsor. Analisis kerentanan disusun berdasarkan empat komponen utama, yaitu kerentanan lingkungan, ekonomi, sosial, dan fisik, yang kemudian digabungkan menjadi Indeks Kerentanan Total.

Indeks Kerentanan Total disusun melalui penggabungan empat komponen kerentanan dengan bobot sesuai pedoman BNPB, yaitu kerentanan sosial (0,4), ekonomi (0,25), fisik (0,25), dan lingkungan (0,1) (lihat Gambar 3). Hasil pemetaan menunjukkan bahwa wilayah Kota Batu secara umum didominasi oleh kelas kerentanan sedang hingga tinggi. Majumder et al. (2023) dan Tran et al. (2024), menyatakan bahwa aglomerasi demografi dan infrastruktur.

Gambar 4, menunjukkan hasil perhitungan kerentanan tanah longor di Kota Batu. Secara total, kerentanan tertinggi terkonsentrasi di Kecamatan Batu dan Junrejo, yang merupakan wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi, aktivitas ekonomi intensif, dan paparan bahaya tanah longsor yang signifikan. Hal ini sejalan dengan Majumder et al. (2023) dan Tran et al. (2024) yang menyatakan bahwa aglomerasi demografi dan infrastruktur menciptakan kerentanan sosial-ekonomi yang tinggi. Argumen Mallick et al. (2021) dan Alcántara-Ayala (2021), juga menyatakan bahwa tekanan pemanfaatan ruang meningkatkan kerentanan fisik-ekonomi sekaligus menurunkan daya dukung ekologis lereng. Sementara itu, Kecamatan Bumiaji meskipun memiliki kerentanan lingkungan dan ekonomi yang tinggi, menunjukkan variasi kerentanan total yang lebih heterogen akibat kepadatan penduduk yang relatif lebih rendah.

Temuan ini menunjukkan bahwa kerentanan di Kota Batu tidak hanya dipengaruhi oleh faktor alam, tetapi juga oleh pola pemanfaatan ruang dan konsentrasi aktivitas manusia. Indeks kerentanan total ini selanjutnya menjadi komponen utama dalam analisis risiko bencana tanah longsor dan perumusan strategi adaptasi pengurangan risiko bencana yang lebih spesifik per wilayah.



Gambar 4. Peta Indeks Kerentanan Tanah Longsor Kota Batu

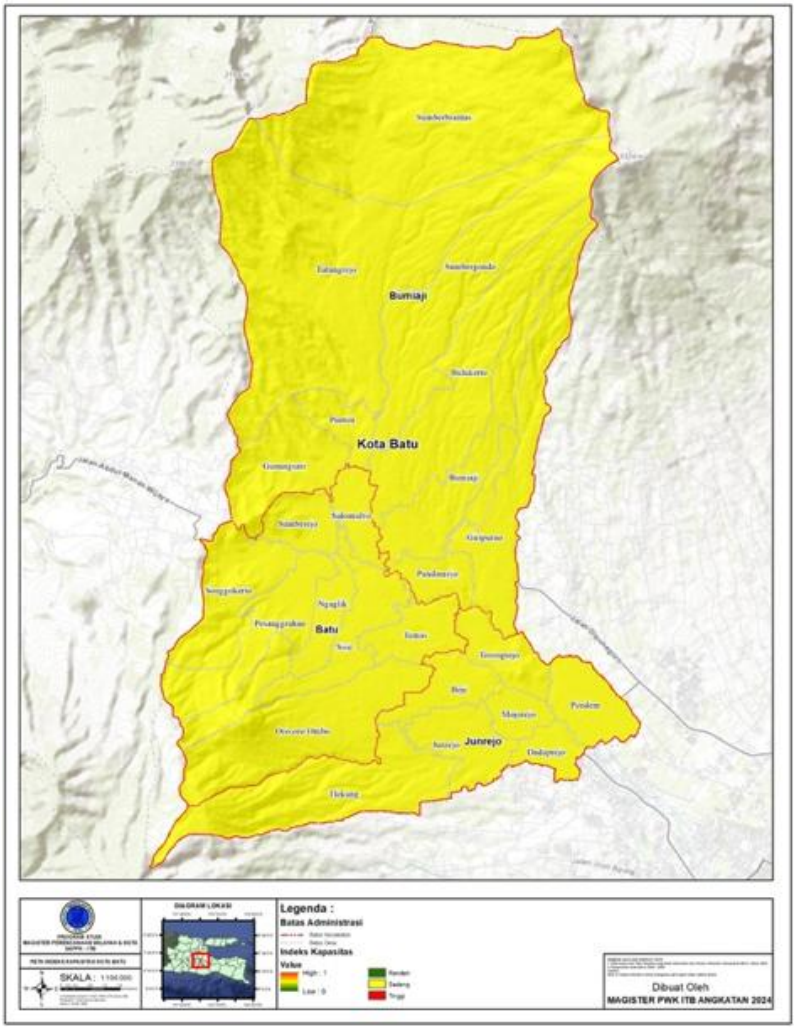
3.3 Indeks Kapasitas

Kapasitas Daerah adalah kemampuan daerah dan masyarakat untuk melakukan tindakan pengurangan ancaman dan potensi kerugian akibat bencana secara terstruktur, terencana dan terpadu. Pada level kabupaten/kota untuk kajian risiko bencana, kapasitas daerah terdiri 2 komponen utama yaitu ketahanan daerah dan kesiapsiagaan masyarakat. Dalam kajian ini data yang digunakan untuk menilai indek kapasitasnya hanya Indeks Ketahanan Daerah (IKD) dikarenakan ketersediaan data yanga ada. Indeks Ketahanan Daerah (IKD) merupakan instrumen untuk mengukur kapasitas daerah. Oleh karenanya, melalui pengukuran IKD dapat dihasilkan peta kapasitas yang kemudian di overlay dengan peta bahaya dan peta kerentanan sehingga menghasilkan peta risiko, sesuai dengan Perka BNPB No. 2 Tahun 2012, serta mengacu kepada petunjuk teknis BNPB tahun 2019.

Tabel 5. Nilai Indeks Ketahanan Daerah (IKD) Kota Batu

	Indikator	Nilai	Kategori
Indeks Ketahanan Daerah (IKD)	Penguatan Kebijakan dan Kelembagaan	0,56	Sedang
	Pengkajian Risiko dan Perencanaan Terpadu		
	Pengembangan Sistem Informasi, Diklat dan Logistik		
	Penanganan Tematik Kawasan Rawan Bencana		
	Peningkatan Efektivitas Pencegahan dan Mitigasi Bencana		
	Penguatan Kesiapsiagaan dan Penanganan Darurat Bencana		
	Pengembangan Sistem Pemulihan Bencana		

Sumber: Kajian Risiko Bencana Nasional Provinsi Jawa Timur 2022 – 2026 (BNPB, 2021)

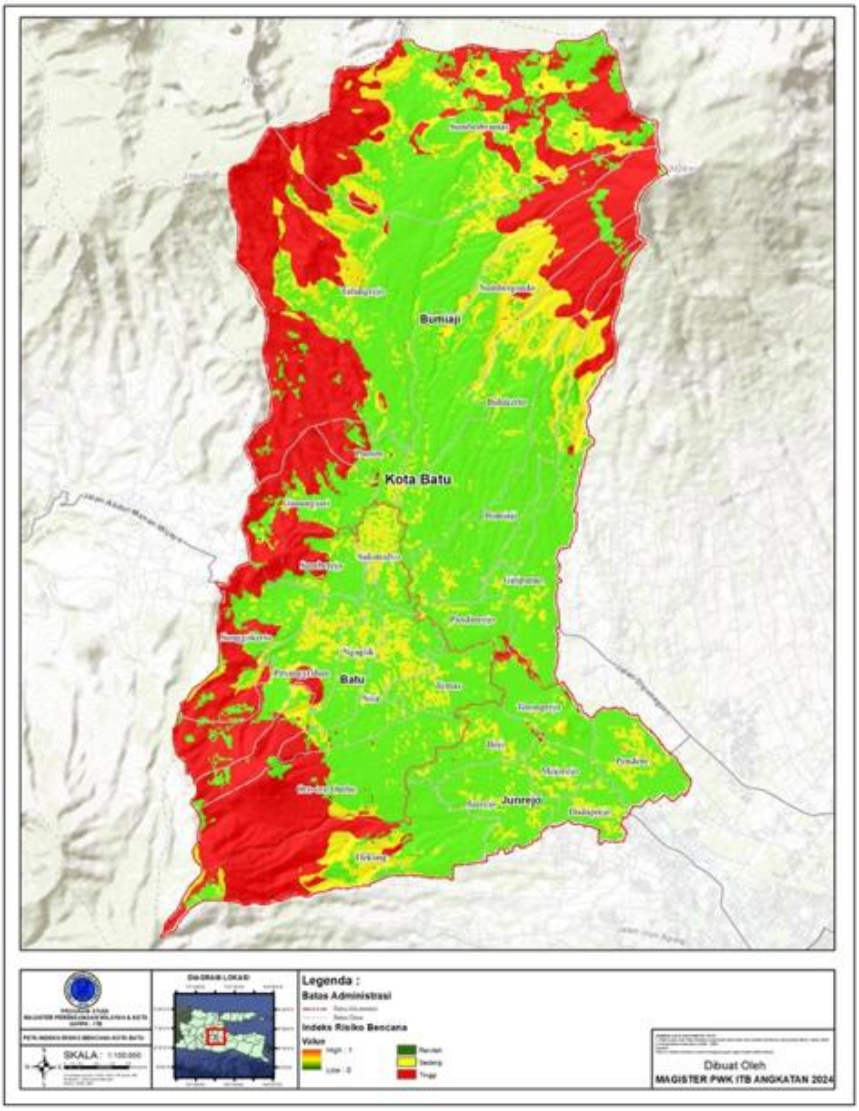


Gambar 5. Peta Indeks Kapasitas Kota Batu

Data nilai Indeks Ketahanan Daerah (IKD) Kota Batu didapatkan dari dokumen Kajian Risiko Bencana Nasional Provinsi Jawa Timur 2022 – 2026 yang mempunyai nilai 0,56 atau masuk dalam kategori sedang Dalam perspektif literatur manajemen risiko bencana, nilai IKD pada kategori sedang (0,56) yang belum disertai ketersediaan data kesiapsiagaan komunitas tingkat tapak (IKM) mencerminkan fenomena umum di banyak daerah berkembang, yakni ketimpangan antara kapasitas regulasi-administratif di tingkat kota dengan kapasitas respons nyata di tingkat komunitas lokal (Alcántara-Ayala, 2021; Handmer & Dovers, 2012; Rofiah et al., 2021). Sebagaimana ditunjukkan oleh Rofiah et al. (2021) dan Tran et al. (2024), kapasitas adaptif yang hanya bertumpu pada kelembagaan pemerintah daerah tanpa desentralisasi kesiapsiagaan masyarakat dan sistem peringatan dini berbasis komunitas tidak akan cukup kuat untuk menekan indeks risiko pada zona bahaya tinggi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 5.

3.4. Indeks Risiko Tanah Longsor

Kajian risiko tanah longsor merupakan penggabungan antara indeks/ kelas bahaya, kelas kerentanan, dan kelas kapasitas. Hasil dari penggabungan ketiga indeks/ kelas tersebut akan menunjukkan kelas risiko bencana tanah longsor di tiap kelurahan/desa di Kota Batu. Bencana tanah longsor memapar 12 kelurahan/desa dengan kelas risiko tinggi, 5 kelurahan/desa dengan kelas risiko sedang dan 7 kelurahan/desa dengan kelas risiko rendah. Kondisi ini menjadikan Kota Batu memiliki kelas risiko tinggi, untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 6.



Gambar 6. Peta Indeks Risiko Bencana Tanah Longsor Kota Batu

Tabel 6. Kelas Risiko Bencana Tanah Longsor Kota Batu

Kecamatan	Kelurahan/ Desa	Luas Risiko 2025 (Ha)			Luas Total (Ha)	Klasifikasi
		Rendah	Sedang	Tinggi		
Bumi Aji	Bulukerto	798,33	239,28	229,30	1.266,92	Rendah
	Bumiaji	572,47	135,63	112,15	820,25	Rendah
	Sumberbrantas	1.124,76	635,50	1.102,35	2.862,61	Tinggi
	Punten	126,48	15,97	113,46	255,91	Tinggi
	Tulungrejo	1.169,99	548,95	1.624,99	3.343,94	Tinggi
	Pandanrejo	32,21	311,84	31,13	375,19	Sedang
	Gunungsari	233,70	24,71	403,86	662,27	Tinggi
	Sumbergondo	657,17	341,13	370,17	1.368,46	Sedang
	Giripurno	495,75	197,95	156,37	850,07	Sedang
Junrejo	Beji	221,14	41,55	52,13	314,81	Rendah
	Dadaprejo	105,40	22,45	49,18	177,04	Rendah
	Tlekung	442,52	219,50	446,82	1.108,84	Tinggi
	Junrejo	327,75	42,97	47,44	418,15	Rendah

Kecamatan	Kelurahan/ Desa	Luas Risiko 2025 (Ha)			Luas Total (Ha)	Klasifikasi
		Rendah	Sedang	Tinggi		
	Mojorejo	118,63	34,58	39,74	192,95	Rendah
	Pendem	163,79	121,08	81,16	366,03	Sedang
	Torongrejo	204,64	87,87	28,65	321,16	Sedang
Batu	Pesanggrahan	239,74	55,39	363,25	658,38	Tinggi
	Sisir	303,03	41,22	164,96	509,21	Tinggi
	Ngaglik	206,67	63,78	245,48	515,93	Tinggi
	Sumberejo	147,61	20,82	119,43	287,86	Tinggi
	Temas	243,61	30,31	67,93	341,85	Rendah
	Sidomulyo	100,39	23,83	125,85	250,07	Tinggi
	Songgokerto	251,35	46,60	366,72	664,67	Tinggi
	Oro-oro Ombo	508,42	60,43	603,82	1.172,67	Tinggi
TOTAL		**8.795,57**	**3.363,35**	**6.946,33**	**19.105,25**	**Tinggi**

Kenaikan kelas ini terjadi karena tingginya indeks kerentanan sosial, fisik, dan ekonomi di pusat perkotaan Batu yang berinteraksi dengan jalur runout lereng. Temuan empiris ini sejalan dengan hasil kajian Novellino et al. (2021) dan Tran et al. (2024) yang membuktikan bahwa kawasan perkotaan padat dengan kerentanan sosial-fisik tinggi tetap menghasilkan risiko bencana yang tinggi meskipun tingkat bahaya fisiknya berada pada klasifikasi rendah dan sedang.

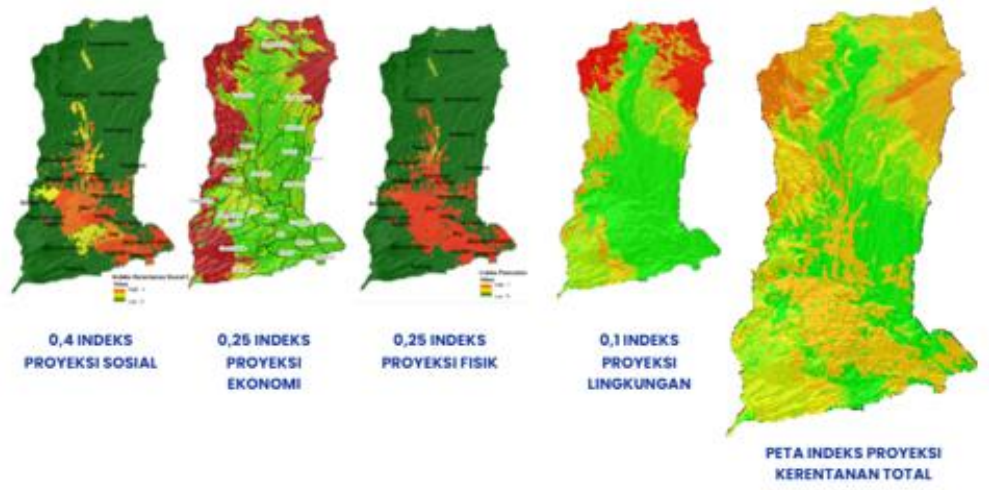
3.5 Indeks Proyeksi Kerentanan Kota Batu Tahun 2040

Indeks Proyeksi Kerentanan Total Kota Batu Tahun 2040 disusun melalui penggabungan empat komponen kerentanan proyeksi dengan bobot sesuai pedoman BNPB, yaitu proyeksi kerentanan sosial (0,4), proyeksi kerentanan ekonomi (0,25), proyeksi kerentanan fisik (0,25), dan proyeksi kerentanan lingkungan (0,1) (lihat Gambar 7). Proses ini dilakukan dengan mengoverlay seluruh peta indeks proyeksi kerentanan per komponen untuk memperoleh gambaran kerentanan total wilayah pada akhir periode perencanaan RTRW.

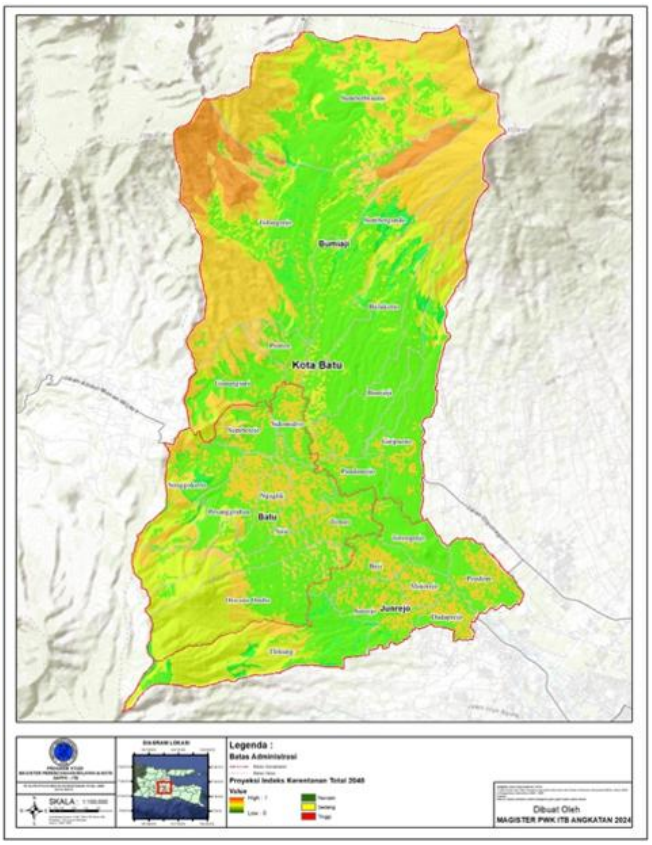
Hasil pemetaan pada Gambar 8, menunjukkan bahwa secara umum Kota Batu diproyeksikan tetap didominasi oleh kelas kerentanan sedang hingga tinggi. Wilayah dengan tingkat kerentanan total tinggi cenderung terkonsentrasi di Kecamatan Batu dan Junrejo, yang dipengaruhi oleh kombinasi kepadatan penduduk yang meningkat, intensifikasi aktivitas ekonomi, serta keterbatasan kapasitas fisik wilayah dalam menghadapi ancaman tanah longsor. Peningkatan nilai ekonomi dan konsentrasi aktivitas terbangun pada wilayah ini berkontribusi signifikan terhadap kenaikan kerentanan total di masa mendatang.

Secara keseluruhan, hasil proyeksi ini menegaskan bahwa kerentanan bencana tanah longsor di Kota Batu pada tahun 2040 tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi fisik dan lingkungan, tetapi juga semakin ditentukan oleh dinamika sosial dan ekonomi yang mengikuti arah pengembangan wilayah. Indeks proyeksi kerentanan total ini menjadi dasar penting dalam penyusunan skenario pengurangan risiko bencana dan strategi adaptasi jangka panjang yang lebih terarah dan berbasis wilayah.

Pola ini mengonfirmasi temuan Bozzolan et al. (2023) dan Luino et al. (2023), bahwa ekspansi kawasan terbangun di wilayah perbukitan secara drastis memperbesar aset dan populasi yang terpapar pada lintasan daerah bahaya geomorfolofi seperti tanah longsor di masa depan.



Gambar 7. Proses Penyusunan Peta Indeks Proyeksi Kerentanan Total Kota Batu Tahun 2040



Gambar 8. Peta Indeks Proyeksi Kerentanan Total Kota Batu Tahun 2040

3.6 Indeks Proyeksi Risiko Tanah Longsor Kota Batu Tahun 2040

Indeks Proyeksi Risiko Tanah Longsor Kota Batu tahun 2040 disusun melalui penggabungan komponen bahaya, kerentanan proyeksi, dan kapasitas wilayah, sebagaimana pendekatan kajian risiko bencana yang direkomendasikan oleh BNPB. Proyeksi risiko ini menggambarkan potensi perubahan tingkat risiko tanah longsor pada akhir periode perencanaan RTRW di Kota Batu, dengan mempertimbangkan dinamika perkembangan wilayah dan intensifikasi aktivitas manusia.

Hasil analisis menunjukkan bahwa secara agregat Kota Batu tetap berada pada kelas risiko tinggi hingga tahun 2040. Dari total luas wilayah sebesar 19.105,25 ha, area dengan risiko tinggi diproyeksikan meningkat menjadi 7.919,71 ha,

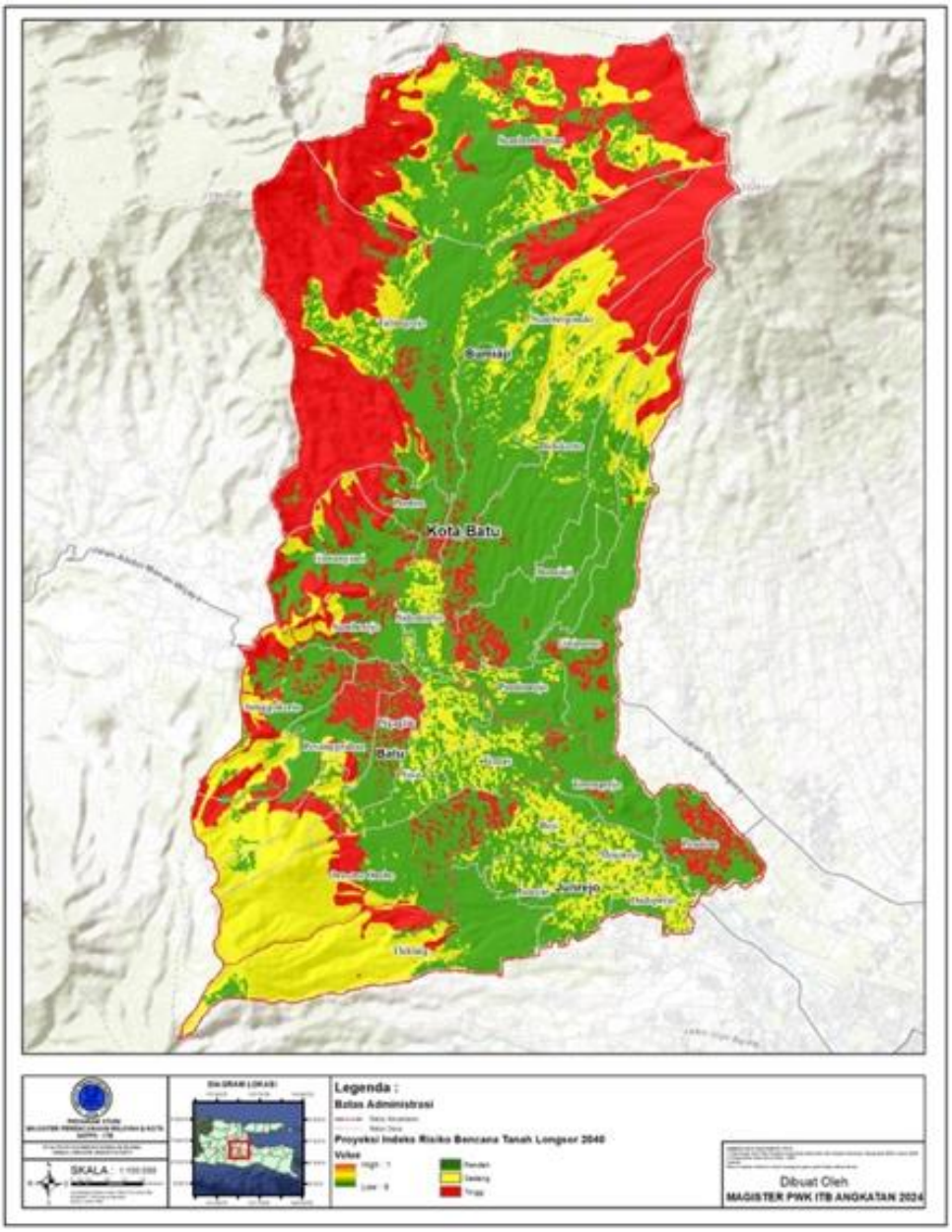
sementara luas wilayah dengan risiko sedang dan rendah cenderung mengalami penurunan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa peningkatan kerentanan dan paparan bencana tidak sepenuhnya dapat diimbangi oleh kapasitas wilayah yang ada.

Tabel 7. Kelas Proyeksi Risiko Bencana Tanah Longsor Kota Batu Tahun 2040

Kecamatan	Kelurahan/ Desa	Luas Risiko 2040 (Ha)			Luas Total (Ha)	Klasifikasi
		Rendah	Sedang	Tinggi		
Bumi Aji	Bulukerto	771,33	201,13	294,46	1.266,92	Rendah
	Bumiaji	561,91	86,09	172,25	820,25	Rendah
	Sumberbrantas	1.024,49	10,25	1.827,87	2.862,61	Tinggi
	Punten	149,77	3,30	102,84	255,91	Tinggi
	Tulungrejo	1.072,58	212,72	2.058,64	3.343,94	Tinggi
	Pandanrejo	36,78	0,15	338,26	375,19	Tinggi
	Gunungsari	327,98	1,93	332,36	662,27	Tinggi
	Sumbergondo	621,92	122,77	623,77	1.368,46	Tinggi
	Giripurno	535,70	125,80	188,57	850,07	Rendah
Junrejo	Beji	188,81	0,86	125,14	314,81	Tinggi
	Dadaprejo	83,77	-	93,27	177,04	Tinggi
	Tlekung	416,13	639,79	52,92	1.108,84	Sedang
	Junrejo	266,43	5,76	145,96	418,15	Tinggi
	Mojorejo	89,49	-	103,46	192,95	Tinggi
	Pendem	226,25	0,38	139,40	366,03	Tinggi
	Torongrejo	300,78	1,24	19,14	321,16	Rendah
Batu	Pesanggrahan	238,50	15,49	404,39	658,38	Tinggi
	Sisir	288,73	31,11	189,37	509,21	Tinggi
	Ngaglik	179,62	292,88	43,43	515,93	Sedang
	Sumberejo	162,08	35,61	90,17	287,86	Tinggi
	Temas	232,75	0,92	108,18	341,85	Tinggi
	Sidomulyo	157,63		92,44	250,07	Tinggi
	Songgokerto	269,70	29,70	365,27	664,67	Tinggi
	Oro-oro Ombo	463,40	701,14	8,13	1.172,67	Sedang
TOTAL		**8.666,53**	**2.519,01**	**7.919,71**	**19.105,25**	Tinggi

Berdasarkan Tabel 7 perbandingan indeks risiko tanah longsor tahun 2025 dan 2040, terlihat bahwa sebagian besar kelurahan/desa mempertahankan kelas risiko yang sama, terutama pada wilayah dengan karakteristik fisik dan bahaya yang dominan. Namun demikian, sejumlah wilayah mengalami peningkatan kelas risiko, terutama dari rendah atau sedang menjadi tinggi, seperti Pandanrejo, Sumbergondo, Beji, Dadaprejo, Junrejo, Mojorejo, Pendem, dan Temas (lihat Gambar 9).

Peningkatan ini menunjukkan bahwa faktor kerentanan menjadi pendorong utama perubahan risiko di masa mendatang. Secara keseluruhan, hasil proyeksi menunjukkan bahwa meskipun terjadi dinamika perubahan kelas risiko pada tingkat kelurahan/desa, Kota Batu secara agregat tetap berada pada kelas risiko tinggi hingga tahun 2040. Hal ini membuktikan secara empiris penelitian Alcántara-Ayala (2021) mengenai 'konstruksi risiko bencana baru' (*construction of new disaster risk*) serta temuan Bozzolan et al. (2023) dan Majumder et al. (2023), di kota sekunder berbasis pariwisata dan agribisnis seperti Kota Batu, peningkatan risiko jangka panjang tidak hanya terjadi di lereng, melainkan bergeser secara masif ke koridor perkotaan (Kecamatan Junrejo dan Batu) akibat urbanisasi pada zona potensi landaan *(runout)* atau titik terjadinya longsor.



Gambar 9. Peta Indeks Proyeksi Risiko Bencana Tanah Longsor Kota Batu Tahun 2040

3.7 Analisis Strategi Adaptasi

Analisis strategi adaptasi disusun berdasarkan hasil perbandingan tingkat risiko bencana tanah longsor pada kondisi baseline tahun 2025 dan proyeksi tahun 2040 di Kota Batu. Pendekatan ini bertujuan untuk menangkap dinamika perubahan risiko dari waktu ke waktu, sehingga strategi adaptasi yang dirumuskan tidak hanya bersifat responsif terhadap kondisi eksisting, tetapi juga antisipatif terhadap peningkatan risiko di masa mendatang. Strategi adaptasi dirumuskan dengan mempertimbangkan tujuh kriteria utama Berdasarkan dinamika perubahan risiko antara tahun 2025 dan proyeksi tahun 2040, keempat tipologi transisi risiko wilayah (Handmer & Dovers, 2012; USAID Adapt Asia-Pacific et al., 2015) untuk merumuskan strategi adaptasi yang tepat sasaran, meliputi kestrategisan, keutamaan, efek samping, prinsip no regret, fleksibilitas, keekonomisan, serta penerimaan sosial dan politik. Dengan kerangka tersebut, strategi yang dipilih tidak hanya berorientasi pada pengurangan risiko jangka pendek, tetapi juga mendukung keberlanjutan pembangunan wilayah dalam jangka panjang.

Tabel 8. Perumusan Strategis Adaptasi berdasarkan Tipologi Tingkat Risiko Bencana Tanah Longsor di Kota Batu

Kelompok Desa/Kelurahan	Tipologi Wilayah	Kriteria							Strategi Adaptasi
		1	2	3	4	5	6	7	
Risiko Tinggi – Tinggi 1. Sumberbrantas 2. Punten 3. Tulungrejo 4. Gunungsari 5. Pesanggrahan 6. Sisir 7. Sumberejo 8. Sidomulyo 9. Songgokerto	• Wilayah dengan Kelerengan Curam • Potensi Gerakan Tanah Tinggi	√	√	√	√				• Pembangunan infrastruktur pengendali longsor • Rehabilitasi vegetasi & konservasi lahan. • Pemasangan Sistem Peringatan Dini Longsor (LEWS) • Penguatan Desa Tangguh Bencana (Destana) • Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana • Pembangunan jalur evakuasi dengan aksesibilitas tinggi
Risiko Rendah/Sedang – Tinggi 1. Sumbergondo 2. Beji 3. Dadaprejo 4. Junrejo 5. Mojorejo 6. Pendem 7. Temas 8. Pandanrejo	• Kawasan Perkotaan • Kepadatan Penduduk Tinggi • Zona Runout	√	√	√	√				• Penguatan Desa Tangguh Bencana (Destana) • Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana • Pembangunan infrastruktur pengendali longsor • Pemasangan Sistem Peringatan Dini Longsor (LEWS) • Pembangunan Drainase Perkotaan dan Sumur Resapan skala kota • Pengendalian Pembangunan melalui zoning regulation
Risiko Tinggi/Sedang – Rendah 1. Giripurno 2. Tlekung 3. Torongrejo 4. Ngaglik 5. Oro-oro Ombo	• Wilayah dengan Kelerengan Menengah • Potensi Gerakan Tanah Rendah • Kawasan Pertanian/Hutan			√	√				• Rehabilitasi vegetasi & konservasi lahan. • Pengendalian Pemanfaatan Ruang • Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana
Risiko Rendah – Rendah 1. Bulukerto 2. Bumiaji	• Wilayah Kelerengan Landai • Potensi Gerakan Tanah Rendah			√	√		√		• Pengendalian Pemanfaatan Ruang • Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana

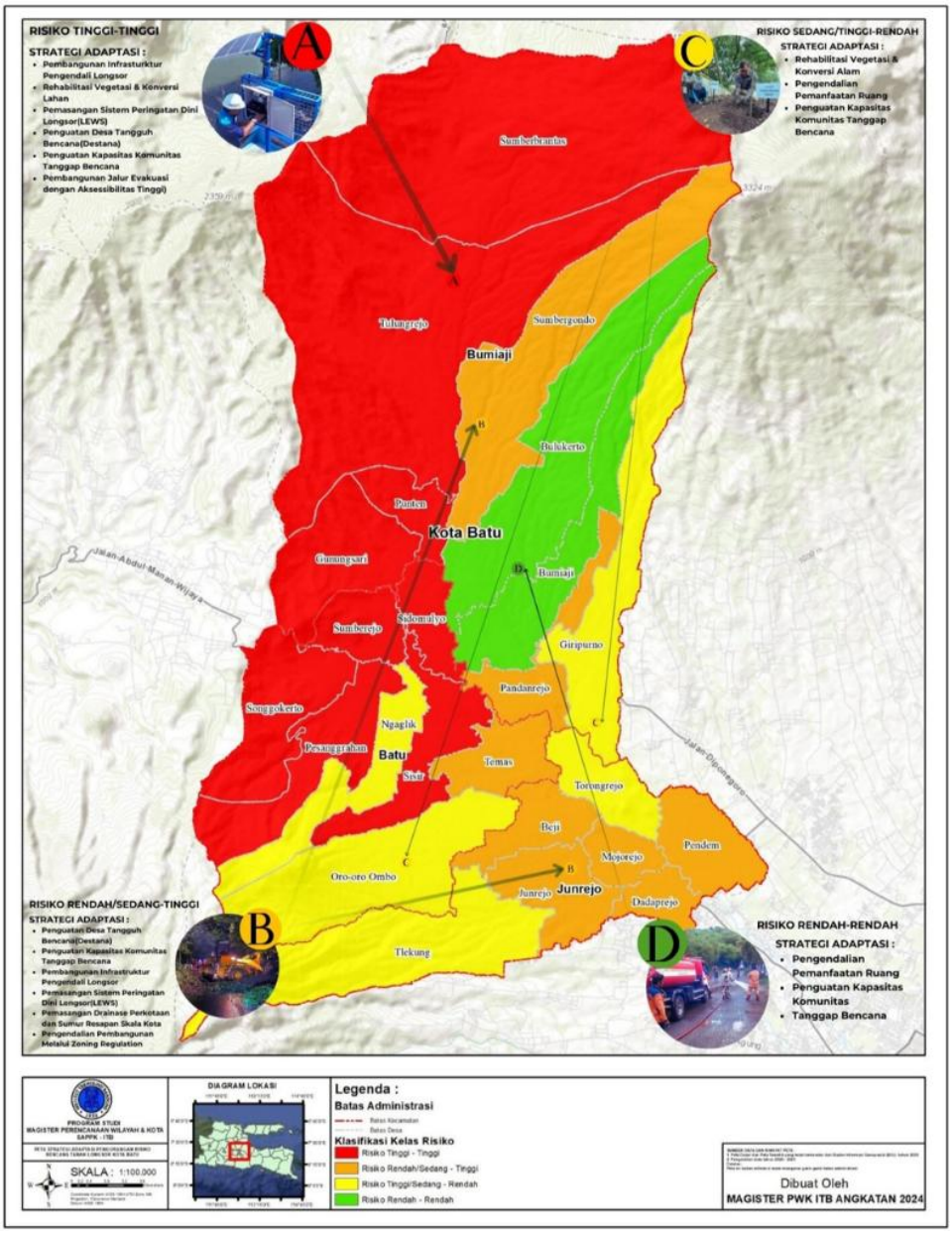
Sumber : Hasil Analisis, 2025

Keterangan :

Kriteria
1. Kestrategisan
2. Keutamaan
3. Efek Samping
4. No Regret
5. Fleksibilitas
6. Keekonomisan
7. Penerimaan Sosial dan Politik

Secara keseluruhan, perumusan strategi adaptasi dalam Tabel 8 menegaskan bahwa pengurangan risiko tanah longsor di Kota Batu memerlukan pendekatan adaptasi yang berjenjang dan berbasis

tipologi risiko. Pendekatan ini memastikan bahwa wilayah dengan risiko tinggi dan risiko yang meningkat mendapatkan prioritas intervensi, sementara wilayah dengan risiko rendah tetap dijaga agar tidak mengalami peningkatan risiko di masa mendatang. Perumusan rencana aksi pengurangan risiko bencana tanah longsor di Kota Batu yang disusun berdasarkan tingkat risiko pada masing-masing desa dan kelurahan. Pengelompokan wilayah dilakukan dengan mempertimbangkan kombinasi tingkat bahaya, kerentanan, dan kapasitas, sehingga menghasilkan klasifikasi risiko yang berbeda-beda, mulai dari risiko rendah hingga risiko tinggi. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa strategi adaptasi dan rencana aksi yang dirumuskan bersifat kontekstual, proporsional, dan sesuai dengan karakteristik fisik, sosial, serta pola pemanfaatan ruang di setiap wilayah (lihat Gambar 10).



Gambar 10. Strategi Adaptasi Pengurangan Risiko Bencana Tanah Longsor Kota Batu

Tabel 9. Perumusan Rencana Aksi Pengurangan Risiko Bencana Tanah Longsor di Kota Batu

Kelompok Desa/ Kelurahan	Strategi Adaptasi	Rencana Aksi
Risiko Tinggi - Tinggi		
1. Sumberbrantas 2. Punten 3. Tulungrejo 4. Gunungsari 5. Pesanggrahan 6. Sisir 7. Sumberejo 8. Sidomulyo 9. Songgokerto	1. Pembangunan Infrastruktur Pengendali Longsor. 2. Rehabilitasi Vegetasi dan Konservasi Lahan. 3. Pemasangan Sistem Peringatan Dini Longsor (LEWS) 4. Penguatan Desa Tangguh Bencana (Destana) 5. Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana 6. Pembangunan Jalur Evakuasi Dengan Aksesibilitas Tinggi	1. Mengembangkan pemasangan alat peringatan dini, pembangunan penahan longsor (sabodam), pemindahan rumah yang sangat rawan, melarang pembangunan di zona bahaya dan penanaman tanaman berakar kuat. 2. Membangun talud besar, memperbaiki saluran air di lereng, membuat jalur evakuasi dua arah dan melakukan latihan evakuasi rutin. 3. Menanam tanaman berakar dalam, membangun bendungan kecil (check dam) dan membatasi pembangunan di lereng curam. 4. Memperkuat tebing dan lereng serta membuat rencana tata ruang yang mempertimbangkan risiko longsor. 5. Memindahkan bangunan yang sangat rawan dan membuat jalur evakuasi khusus kawasan wisata. 6. Mengelola kawasan wisata berbasis risiko dan menutup aktivitas wisata saat hujan ekstrem. 7. Mengendalikan pembangunan kota dan memperkuat sistem drainase kawasan padat. 8. Memperbaiki tebing dan melakukan pemantauan retakan tanah secara rutin. 9. Membangun talud di kawasan wisata, memasang rambu evakuasi dan membangun check dam besar untuk menahan material longsor.
Risiko Rendah/Sedang - Tinggi		
1. Sumbergondo 2. Beji 3. Dadaprejo 4. Junrejo 5. Mojorejo 6. Pendem 7. Temas 8. Pandanrejo	1. Penguatan Desa Tangguh Bencana (Destana). 2. Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana 3. Pembangunan Infrastruktur Pengendali Longsor. 4. Pemasangan Sistem Peringatan Dini Longsor (LEWS) 5. Pembangunan Drainase Perkotaan dan Sumur Resapan Skala Kota 6. Pengendalian Pembangunan Melalui Zoning Regulation	1. Memperbaiki drainase besar, menyesuaikan langkah adaptasi secara bertahap dan membatasi pembangunan wisata. 2. Memasang peringatan hujan dan mengontrol pembangunan villa di lereng. 3. Memperkuat drainase, mengatur tata ruang sesuai RPJMD dan mengendalikan pembangunan perumahan. 4. Melakukan reboisasi dan menutup aktivitas sementara saat hujan ekstrem. 5. Mengendalikan pertumbuhan kota dan memperbaiki drainase perkotaan. 6. Membuat terasering, melakukan reboisasi, mewajibkan kajian geoteknik dan membangun check dam kecil. 7. Membangun check dam, mengatur tata ruang dan mengawasi bangunan agar sesuai aturan dan aman.
Risiko Tinggi/Sedang - Rendah		
1. Giripurno 2. Tlekung 3. Torongrejo 4. Ngaglik 5. Oro-oro Ombo	1. Rehabilitasi Vegetasi dan Konservasi Lahan. 2. Pengendalian Pemanfaatan Ruang 3. Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana	1. Memperbaiki drainase lingkungan dan mencegah alih fungsi lahan yang dapat menimbulkan longsor. 2. Memperbaiki saluran air, menanam vegetasi penguat lereng dan memberikan edukasi kepada masyarakat. 3. Mengurangi risiko longsor di kawasan wisata, mengedukasi wisatawan dan menanam vegetasi di tebing untuk menstabilkan lereng. 4. Memperkuat struktur bangunan dan mengawasi izin pembangunan (PBG) agar sesuai standar keamanan. 5. Membangun penahan lereng di area wisata serta memberikan edukasi kepada wisatawan dan warga tentang bahaya longsor.

Kelompok Desa/ Kelurahan	Strategi Adaptasi	Rencana Aksi
Risiko Rendah - Rendah		
1. Bulukerto 2. Bumiaji	1. Pengendalian Pemanfaatan Ruang 2. Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana	1. Menjaga zona penyangga (buffer zone), melakukan reboisasi, memperbaiki drainase lingkungan dan mengawasi pembangunan agar tidak merusak lereng. 2. Melakukan konservasi tanah, menjaga sempadan sungai dan memberikan edukasi kebencanaan kepada warga. 3. Menjaga ruang terbuka hijau (RTH), mengidentifikasi titik rawan longsor sejak awal dan memberikan edukasi kepada masyarakat.

Sumber : Hasil Analisis, 2025

Perumusan rencana aksi dalam Tabel 9 menunjukkan bahwa pengurangan risiko bencana tanah longsor di Kota Batu memerlukan pendekatan yang terintegrasi antara aspek struktural, tata ruang, dan pemberdayaan masyarakat. Diferensiasi strategi dan rencana aksi berdasarkan tingkat risiko diharapkan mampu meningkatkan efektivitas penanggulangan bencana serta mendukung pembangunan wilayah yang aman dan berkelanjutan.

Strategi adaptasi dengan rencana aksi yang disusun pada Tabel 9 mencakup aspek struktural dan non-struktural, seperti pembangunan infrastruktur pengendali longsor, rehabilitasi vegetasi, penguatan sistem peringatan dini, pengendalian pemanfaatan ruang, serta peningkatan kapasitas masyarakat melalui penguatan Desa Tangguh Bencana. Dengan demikian, tabel ini menjadi dasar dalam penyusunan kebijakan dan program pengurangan risiko bencana tanah longsor yang terintegrasi dan berkelanjutan di Kota Batu. Langkah adaptasi bencana tanah longsor di Kota Batu diklasifikasikan ke dalam dua pendekatan utama, yakni adaptasi struktural dan adaptasi non-struktural. Adaptasi struktural berkaitan dengan upaya fisik dan teknis rekayasa untuk memperkecil kerentanan terhadap bencana, sedangkan adaptasi non-struktural menitikberatkan pada aspek kebijakan, peraturan, serta penguatan kapasitas sumber daya manusia. Penentuan strategi ini didasarkan pada tingkat risiko di setiap klaster desa/kelurahan, sebagaimana dirinci dalam Tabel 10.

Tabel 10. Strategi Adaptasi berdasarkan Adaptasi Struktural dan Non-Struktural di Kota Batu

Kelompok Desa/ Kelurahan	Strategi Adaptatasi	
	Adaptasi Struktural	Adaptasi Non-Struktural
Risiko Tinggi - Tinggi		
1. Sumberbrantas 2. Punten 3. Tulungrejo 4. Gunungsari 5. Pesanggrahan 6. Sisir 7. Sumberejo 8. Sidomulyo 9. Songgokerto	1. Pembangunan Infrastruktur Pengendali Longsor 2. Pemasangan Sistem Peringatan Dini Longsor (LEWS) 3. Pembangunan Jalur Evakuasi Dengan Aksesibilitas Tinggi	1. Rehabilitasi Vegetasi dan Konservasi Lahan 2. Penguatan Desa Tangguh Bencana (Destana) 3. Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana
Risiko Rendah/Sedang - Tinggi		
1. Sumbergondo 2. Beji 3. Dadaprejo 4. Junrejo 5. Mojorejo 6. Pendem 7. Temas 8. Pandanrejo	1. Pembangunan Infrastruktur Pengendali Longsor 2. Pemasangan Sistem Peringatan Dini Longsor (LEWS) 3. Pembangunan Drainase Perkotaan	1. Penguatan Desa Tangguh Bencana (Destana) 2. Pengendalian Pembangunan Melalui Zoning Regulation 3. Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana

Kelompok Desa/ Kelurahan	Strategi Adaptatasi	
	Adaptasi Struktural	Adaptasi Non-Struktural
	dan Sumur Resapan Skala Kota	
Risiko Tinggi/Sedang - Rendah		
1. Giripurno 2. Tlekung 3. Torongrejo 4. Ngaglik 5. Oro-oro Ombo		1. Rehabilitasi Vegetasi dan Konservasi Lahan 2. Pengendalian Pemanfaatan Ruang 3. Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana
Risiko Rendah - Rendah		
1. Bulukerto 2. Bumiaji		1. Pengendalian Pemanfaatan Ruang 2. Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana

Strategi adaptasi ini menunjukkan adanya diferensiasi kebijakan yang berbasis pada urgensi tingkat risiko. Kawasan hulu dan pusat pariwisata cenderung mendapatkan porsi adaptasi struktural yang lebih besar untuk melindungi aset infrastruktur dan nyawa manusia secara instan. Sementara itu, kawasan lainnya didorong untuk memperkuat ketahanan melalui manajemen tata ruang dan peningkatan literasi bencana. Efektivitas dari strategi gabungan ini akan sangat bergantung pada konsistensi pengawasan di lapangan serta integrasi data kebencanaan ke dalam proses perizinan pembangunan di Kota Batu.

Penjabaran strategi adaptasi ke dalam rencana aksi per desa/kelurahan Tabel 9 serta klasifikasi ke dalam pendekatan Adaptasi Struktural dan Adaptasi Non-Struktural Tabel 10 memperlihatkan urgensi kombinasi instrumen rekayasa teknis fisik dan tata ruang/sosial, intervensi struktural seperti pembangunan sabodam/check dam penahan aliran bahan rombakan, perkuatan talud tebing, pemasangan Landslide Early Warning System (LEWS), serta penataan drainase perkotaan dan sumur resapan skala kota menjadi keharusan untuk melindungi keselamatan warga dan infrastruktur secara langsung (Lu et al., 2024b; McColl, 2022). Namun, sebagaimana ditekankan oleh Stead (2021) dan Alcántara-Ayala (2021), rekayasa struktural memiliki batas ambang desain dan biaya pemeliharaan tinggi apabila tidak didampingi instrumen non-struktural berupa pengendalian pembangunan melalui zoning regulation, pembatasan izin bangunan (PBG) pada lereng curam, vegetasi berakar dalam, serta pembentukan Desa/Kelurahan Tangguh Bencana (Destana).

Setelah merumuskan rencana aksi pengurangan risiko bencana tanah longsor, dilakukan langkah sinkronisasi dengan dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Batu Tahun 2025-2029. Sinkronisasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi strategi yang telah memiliki payung hukum dan dukungan anggaran dalam program pemerintah, serta strategi yang memerlukan penguatan atau usulan baru dalam perencanaan teknis di masa depan. Hasil analisis keselarasan tersebut disajikan dalam Tabel 11.

Tabel 11. Keselarasan Strategi antara RPJMD 2025-2029 Kota Batu

Keselarasan Strategi Adaptasi dalam RPJMD 2025-2029 Kota Batu		
Kelompok Desa/ Kelurahan	Sudah Ada	Belum ada
Risiko Tinggi - Tinggi		
1. Sumberbrantas 2. Punten 3. Tulungrejo 4. Gunungsari	1. Pembangunan Infrastruktur Pengendali Longsor	1. Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana 2. Penguatan Desa Tangguh Bencana (Destana)

Keselarasan Strategi Adaptasi dalam RPJMD 2025-2029 Kota Batu					
Kelompok Desa/ Kelurahan		Sudah Ada		Belum ada	
Risiko Tinggi - Tinggi					
5. 6. 7. 8. 9.	Pesanggrahan Sisir Sumberejo Sidomulyo Songgokerto	2. 3. 4.	Pemasangan Sistem Peringatan Dini Longsor (LEWS) Pembangunan Jalur Evakuasi Dengan Aksesibilitas Tinggi Rehabilitasi Vegetasi dan Konservasi Lahan		
Risiko Rendah/Sedang - Tinggi					
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8.	Sumbergondo Beji Dadaprejo Junrejo Mojorejo Pendem Temas Pandanrejo	1. 2.	Pembangunan Infrastruktur Pengendali Longsor Pemasangan Sistem Peringatan Dini Longsor (LEWS)	1. 2. 3. 4.	Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana Penguatan Desa Tangguh Bencana (Destana) Pengendalian Pembangunan Melalui Zoning Regulation Pembangunan Drainase Perkotaan dan Sumur Resapan Skala Kota
Risiko Tinggi/Sedang - Rendah					
1. 2. 3. 4. 5.	Giripurno Tlekung Torongrejo Ngaglik Oro-oro Ombo	1. 2.	Rehabilitasi Vegetasi dan Konservasi Lahan Pengendalian Pemanfaatan Ruang	1.	Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana
Risiko Rendah - Rendah					
1. 2.	Bulukerto Bumiaji	1.	Pengendalian Pemanfaatan Ruang	1.	Penguatan Kapasitas Komunitas Tanggap Bencana

Kesenjangan utama yang ditemukan dalam tabel di atas terletak pada aspek penguatan kapasitas komunitas tanggap bencana. Strategi ini masih belum dirumuskan secara jelas dan spesifik di hampir seluruh kelompok tingkat risiko wilayah.

Temuan kesenjangan kebijakan pada Tabel 11 ini memperkaya literatur perencanaan pembangunan daerah dan tata kelola risiko bencana (Alcántara-Ayala, 2021; Handmer & Dovers, 2012; Rofiah et al., 2021; Stead, 2021). Tidak tepatnya kebijakan pemerintah daerah yang lebih memprioritaskan proyek infrastruktur fisik dibandingkan penguatan kelembagaan komunitas (Destana) dan penegakan zoning regulation di wilayah peri-urban atau daerah pinggiran menjelaskan mengapa indeks kapasitas daerah sering kali stagnan dan gagal menahan laju pertumbuhan risiko baru di kawasan transisi perkotaan (Alcántara-Ayala, 2021; Bozzolan et al., 2023). Kondisi ini menunjukkan bahwa upaya kesiapsiagaan bencana cenderung berhenti pada tingkat kelembagaan desa dan belum sepenuhnya menjangkau kelompok masyarakat yang paling terdampak. Secara umum, strategi adaptasi yang dirumuskan telah sejalan dengan arah kebijakan RPJMD Kota Batu Tahun 2025–2029.

4. KESIMPULAN

Bencana tanah longsor merupakan ancaman berkepanjangan di Kota Batu dimana bencana ini paling sering terjadi dibandingkan jenis bencana lainnya, wilayah risiko tinggi pada tahun 2025 seluas 6.946,33 ha (36,36% wilayah) diproyeksikan meningkat 14,01% menjadi 7.919,71 ha (41,45% wilayah) pada tahun 2040, dengan tambahan delapan desa/kelurahan peri-urban dan perkotaan yang naik kelas menjadi risiko tinggi. Tingginya risiko longsor di wilayah ini disebabkan oleh kombinasi faktor alam dan aktivitas manusia, seperti curah hujan yang tinggi dan kemiringan lereng yang tajam, diperparah oleh pembangunan rumah serta aktivitas pertanian di kawasan lereng yang seharusnya dibatasi.

Naiknya risiko ini didorong oleh pemusatan antara faktor fisik-geomorfologis dan alih fungsi lahan Kecamatan Bumiaji, serta lonjakan penduduk, ekspansi permukiman, dan pariwisata di zona

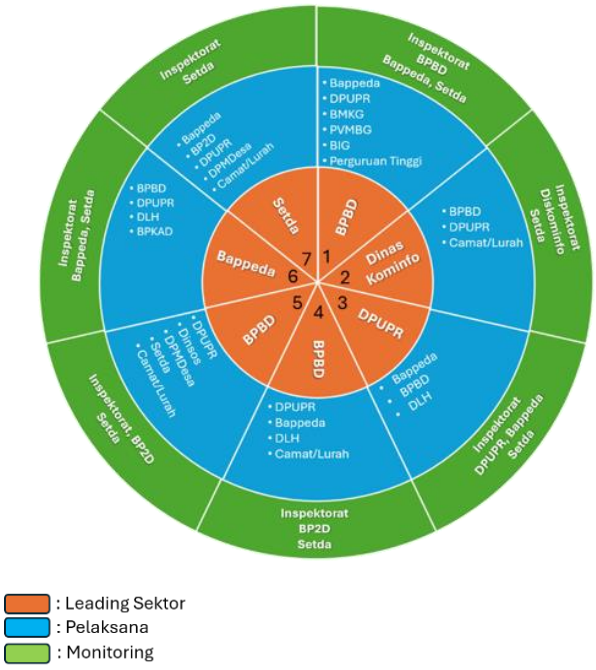
landaan (runout) wilayah yang belum diimbangi kapasitas daerah serta pengendalian ruang yang memadai. Mitigasi tidak lagi bisa mengandalkan pendekatan seragam, melainkan menuntut strategi adaptasi berjenjang berbasis empat tipologi transisi risiko yang dioperasionalkan melalui tujuh rekomendasi kebijakan strategis mulai dari perbaikan kajian risiko, pembangunan sistem peringatan dini, integrasi peta risiko ke dalam tata ruang, mitigasi struktural dan vegetatif, pembentukan Destana, penyelarasan iklim dalam RPJMD, hingga kolaborasi multipihak lintas perangkat daerah lewat tata kelola Rencana Aksi.

5. REKOMENDASI

Kebijakan adaptasi pengurangan resiko bencana tanah longsor perlu diintegrasikan ke dalam kebijakan pembangunan daerah melalui pendekatan multipihak dengan pembagian peran antar pemangku kepentingan dirumuskan dalam Rencana Aksi Multipihak Implementasi Program (RAM-IP) Pengurangan Resiko Bencana Tanah Longsor Di Kota Batu. Berikut rekomendasi kebijakan yang perlu dilakukan oleh Pemerintah Kota Batu, antara lain:

1. Memperkuat kajian risiko bencana tanah longsor.
2. Mengembangkan Sistem Informasi Risiko Bencana Tanah Longsor yang terintegrasi.
3. Mengintegrasikan informasi risiko bencana ke dalam kebijakan penataan ruang serta pengendalian pemanfaatan ruang.
4. Meningkatkan mitigasi struktural dan konservasi kawasan rawan longsor.
5. Memperkuat kesiapsiagaan masyarakat melalui pengembangan Desa/Kelurahan Tangguh Bencana.
6. Mengintegrasikan adaptasi perubahan iklim dan pengurangan risiko bencana ke dalam dokumen perencanaan pembangunan daerah.
7. Memperkuat kelembagaan dan kolaborasi multipihak dalam implementasi pengurangan risiko bencana.

Gambar 11 merupakan rencana aksi multipihak implementasi program (RAM IP) pengurangan resiko bencana tanah longsor di Kota Batu.



Gambar 11. Rencana Aksi Multipihak Implementasi Program (RAM IP) Pengurangan Resiko Bencana Tanah Longsor Di Kota Batu

6. DAFTAR PUSTAKA

Alcántara-Ayala, I. (2021). Integrated landslide disaster risk management (ILDRiM): the challenge to avoid the construction of new disaster risk. *Environmental Hazards, 20*(3), 323-344. doi:10.1080/17477891.2020.1810609

BMKG. (2021). *Proyeksi Perubahan Iklim dan Ekstrem Curah Hujan di Indonesia*. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

BNPB. (2019). *Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Tanah Longsor*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB).

BNPB. (2021). *Kajian Risiko Bencana Nasional Provinsi Jawa Timur Tahun 2022–2026*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB).

BNPB. (2023). *Indeks Risiko Bencana Indonesia (IRBI) dan Statistik Bencana Indonesia Tahun 2023*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB).

Bozzolan, E., Holcombe, E. A., Pianosi, F., Marchesini, I., Alvioli, M., & Wagener, T. (2023). A mechanistic approach to include climate change and unplanned urban sprawl

in landslide susceptibility maps. *Science of the Total Environment, 858*, 159412. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159412

Bui, Q. D., Ha, H., Khuc, D. T., Nguyen, D. Q., von Meding, J., Nguyen, L. P., & Luu, C. (2023). Landslide susceptibility prediction mapping with advanced ensemble models: Son La province, Vietnam. *Natural Hazards, 116*(2), 2283-2309. doi:10.1007/s11069-022-05764-3

Chaabane, F. Z., Lamine, S., Guettouche, M. S., Bachari, N. E., & Hallal, N. (2024). Landslide Risk Assessments through Multicriteria Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 13*(9), 303. Retrieved from doi:10.3390/ijgi13090303

Das, S., Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2022). GIS-based landslide susceptibility zonation mapping using the analytic hierarchy process (AHP) method in parts of Kalimpong Region of Darjeeling Himalaya. *Environmental Monitoring and Assessment, 194*(4), 234. doi:10.1007/s10661-022-09851-7

Goumrasa, A., Guendouz, M., & Guettouche, M. S. (2021). GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis Approach (GIS-MCDA) for investigating mass movements' hazard susceptibility along the first section of the Algerian North-South Highway. *Arabian Journal of Geosciences, 14*(10), 850. doi:10.1007/s12517-021-07124-0

Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K.-T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews, 112*(1), 42-66. doi:https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001

Handmer, J., & Dovers, S. (2012). *The handbook of disaster and emergency policies and institutions*: Taylor & Francis.

Hasan, M. F., Susilo, A., Suryo, E. A., Agung, P. A. M., Hiranyo, A. E., Pratiwie, D. L., . . . Maryanto, S. (2024). Soil Vulnerability Analysis Using the Microtremor Method for Mapping the Landslide Susceptibility Area in Batu City, Indonesia. *The Iraqi Geological Journal*, 18-31. doi:https://doi.org/10.46717/igj.57.2A.2ms-2024-7-12

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Climate Resilient Development Pathways. In Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 2655–2808). In (pp. 2655-2808). Cambridge: Cambridge University Press.

Jakob, M. (2022). Chapter 14 - Landslides in a changing climate. In T. Davies, N. Rosser, & J. F. Shroder (Eds.), *Landslide Hazards, Risks, and Disasters (Second Edition)* (pp. 505-579): Elsevier.

Lu, W., Xiao, Z., Chen, Y., Sun, J., & Chen, F. (2024a). Spatiotemporal Characteristics and Rainfall Thresholds of Geological Landslide Disasters in ASEAN Countries. *Atmosphere, 15*(5), 599. Retrieved from doi:10.3390/atmos15050599

Lu, X., Chan, F. K. S., Chan, H. K., & Chen, W.-Q. (2024b). Mitigating flood impacts on road infrastructure and transportation by using multiple information sources. *Resources, Conservation and Recycling, 206*, 107607. doi:https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107607

Luino, F., Barriendos, M., Gizzi, F. T., Glaser, R., Gruetzner, C., Palmieri, W., . . . Turconi, L. (2023). Historical Data for Natural Hazard Risk Mitigation and Land Use Planning. *Land, 12*(9), 1777. Retrieved from doi:10.3390/land12091777

Majumder, S., Roy, S., Bose, A., & Chowdhury, I. R. (2023). Multiscale GIS based-model to assess urban social vulnerability and associated risk: Evidence from 146 urban centers of Eastern India. *Sustainable Cities and Society, 96*, 104692. doi:https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104692

Mallick, J., Alqadhi, S., Talukdar, S., AlSubih, M., Ahmed, M., Khan, R. A., . . . Abutayeh, S. M. (2021). Risk Assessment of Resources Exposed to Rainfall Induced Landslide with the Development of GIS and RS Based Ensemble Metaheuristic Machine Learning

Algorithms. *Sustainability, 13*(2), 457. Retrieved from doi:10.3390/su13020457

McColl, S. T. (2022). Chapter 2 - Landslide causes and triggers. In T. Davies, N. Rosser, & J. F. Shroder (Eds.), *Landslide Hazards, Risks, and Disasters (Second Edition)* (pp. 13-41): Elsevier.

Nguyen, H. T., Wiatr, T., Fernández-Steeger, T. M., Reicherter, K., Rodrigues, D. M. M., & Azzam, R. (2013). Landslide hazard and cascading effects following the extreme rainfall event on Madeira Island (February 2010). *Natural Hazards, 65*(1), 635-652. doi:10.1007/s11069-012-0387-y

Novellino, A., Cesarano, M., Cappelletti, P., Di Martire, D., Di Napoli, M., Ramondini, M., . . . Calcaterra, D. (2021). Slow-moving landslide risk assessment combining Machine Learning and InSAR techniques. *CATENA, 203*, 105317. doi:https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105317

Paronuzzi, P., Del Fabbro, M., & Bolla, A. (2022). Soil Moisture Profiles of Unsaturated Colluvial Slopes Susceptible to Rainfall-Induced Landslides. *Geosciences, 12*(1), 6. Retrieved from doi:10.3390/geosciences12010006

Peraturan Daerah Kota Batu Nomor 2 Tahun 2025 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Batu Tahun 2025–2029.

Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 1 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Desa/Kelurahan Tangguh Bencana.

Persichillo, M. G., Bordoni, M., Cavalli, M., Crema, S., & Meisina, C. (2018). The role of human activities on sediment connectivity of shallow landslides. *CATENA, 160*, 261-274. doi:https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.09.025

Petley, D. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology, 40*(10), 927-930. doi:10.1130/G33217.1

Rofiah, N. H., Kawai, N., & Hayati, E. N. (2021). Key elements of disaster mitigation education in inclusive school setting in the Indonesian context. *Jamba: Journal of Disaster Risk Studies, 13*(1), 1-8. doi:https://doi.org/10.4102/jamba.v13i1.1159

Salunkhe, A. A., Gobinath, R., & Makkar, S. (2022). Chapter 19 - Soft computing applications in rainfall-induced landslide analysis and protection—Recent trends, techniques, and opportunities. In H. R. Pourghasemi (Ed.), *Computers in Earth and Environmental Sciences* (pp. 271-287): Elsevier.

Skilodimou, H. D., Bathrellos, G. D., Koskeridou, E., Soukis, K., & Rozos, D. (2018). Physical and Anthropogenic Factors Related to Landslide Activity in the Northern Peloponnese, Greece. *Land, 7*(3), 85. Retrieved from doi:10.3390/land7030085

Stead, D. (2021). Conceptualizing the Policy Tools of Spatial Planning. *Journal of Planning Literature, 36*(3), 297-311. doi:10.1177/0885412221992283

Tran, T. X., Liu, S., Ha, H., Bui, Q. D., Nguyen, L. Q., Nguyen, D. Q., . . . Luu, C. (2024). A Spatial Landslide Risk Assessment Based on Hazard, Vulnerability, Exposure, and Adaptive Capacity. *Sustainability, 16*(21), 9574. Retrieved from doi:10.3390/su16219574

United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR]. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030*. UNDRR.

USAID Adapt Asia-Pacific, University of Hawai'i at Mānoa, & Institut Teknologi Bandung. (2015). *Modul Pelatihan dan Bahan Perkuliahan Disaster Mitigation and Climate Change Adaptation Policy*. Program Studi Magister Perencanaan Wilayah dan Kota, SAPPK, Institut Teknologi Bandung.