

Kerangka *Decision Support System* Berbasis Aturan untuk Evaluasi Izin Mendirikan Bangunan di Kawasan Rawan Longsor dan Banjir Kasus Kabupaten Bogor

Dyah Sulistyowati Rahayu¹, Nenden Nuraini^{2,*}, Zidan Wali Arubusman³, Chaerul Cahyadi⁴

^{1,4}Program Studi Teknik Informatika, Universitas Pancasila
Jl. Srengseng Sawah, Jakarta Selatan DKI Jakarta, Indonesia

¹dyah.s.rahayu@univpancasila.ac.id

²nuraininenden15@gmail.com

³zidanarubusman@gmail.com

⁴chaeruladi2003@gmail.com

*Korespondensi: nuraininenden15@gmail.com

Abstract— *Bogor Regency is highly vulnerable to landslides and floods due to its geomorphology, intense rainfall, and increasing development pressure. The demand for building permits (IMB/PBG) in this area poses a policy dilemma because residential development in vulnerable zones can increase the risk of losses. This study aims to develop a decision-support system (DSS) framework to assist the government in evaluating the feasibility of residential building permits in an objective, transparent, and risk-based manner. The research method uses a literature review approach to examine relevant feasibility criteria, including geotechnical and hydrological factors, as well as regulatory aspects. The synthesis results in a rule-based DSS framework with three decision outputs: Go (feasible), Special Mitigation (conditional permit with technical requirements such as stilt houses, pile foundations, or slope drainage), and No-Go (not feasible). The contribution of this research is to provide a conceptual DSS model that can be integrated with the Building Licensing System (SIMBG) to support policy consistency, strengthen disaster mitigation, and improve spatial planning accountability in Bogor Regency.*

Keywords— *decision support system, building permits, disaster risk, mitigation, rule-based*

Abstract— Kabupaten Bogor merupakan wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana longsor dan banjir akibat kondisi geomorfologi, curah hujan yang intens, serta tekanan pembangunan yang meningkat. Permintaan izin mendirikan bangunan (IMB/PBG) di daerah ini menimbulkan dilema kebijakan karena pembangunan hunian di zona rawan berpotensi meningkatkan risiko kerugian. Penelitian ini bertujuan menyusun kerangka *decision support system* (DSS) yang dapat membantu pemerintah dalam mengevaluasi kelayakan izin mendirikan bangunan hunian secara objektif, transparan, dan berbasis risiko. Metode penelitian menggunakan pendekatan studi literatur dengan menelaah kriteria kelayakan yang relevan, meliputi faktor geoteknik, hidrologi serta aspek regulasi. Hasil sintesis menghasilkan kerangka DSS berbasis aturan (*rule-based decision support system*) dengan tiga keluaran keputusan: Go (layak), Mitigasi Khusus (izin bersyarat dengan syarat teknis seperti rumah panggung, fondasi tiang, atau drainase lereng), dan No-Go (tidak layak). Kontribusi penelitian ini adalah memberikan model konseptual DSS yang dapat diintegrasikan dengan Sistem Perizinan Bangunan (SIMBG) sehingga mendukung konsistensi kebijakan, memperkuat mitigasi bencana, dan meningkatkan akuntabilitas tata ruang di Kabupaten Bogor.

Kata Kunci— *decision support system, izin mendirikan bangunan, rawan bencana, mitigasi, berbasis aturan*

I. PENDAHULUAN

Kabupaten Bogor merupakan salah satu wilayah prioritas di Provinsi Jawa Barat yang memiliki kerentanan tinggi terhadap bencana longsor dan banjir, khususnya banjir hidrometeorologi dan pergerakan tanah akibat intensitas hujan tinggi, perubahan penggunaan lahan, serta topografi curam dan litologi yang mudah tererosi. Beberapa kecamatan di Bogor mengalami indeks kerentanan longsor sedang hingga tinggi, meskipun secara keseluruhan terdapat variasi spasial dalam tingkat kerawanan antara wilayah-wilayah administratif [1]. Selain itu, data dari BPBD Kabupaten Bogor menyebutkan bahwa dari 40 kecamatan terdapat 26 kecamatan yang dipetakan masuk kategori potensi pergerakan tanah menengah hingga tinggi [2]. Data lain menunjukkan bahwa beberapa kecamatan di wilayah selatan Bogor memiliki risiko longsor tinggi pada sektor permukiman, terutama karena perubahan tutupan lahan dan drainase yang buruk di area lereng [3].

Di sisi hilir, persoalan banjir pada sistem Ciliwung bersifat lintas administrasi (Bogor–Depok–DKI) menimbulkan tantangan tata kelola risiko yang kompleks [4]. Gambaran ini menegaskan urgensi pengendalian pemanfaatan ruang dan izin mendirikan bangunan pada zona rawan. Selain itu, kondisi ini diperparah oleh pengembangan hunian yang terus meningkat, sementara proses perizinan bangunan belum selalu memperhitungkan faktor risiko bencana secara sistematis. Pengaturan Izin Mendirikan Bangunan (IMB) terutama di zona rawan bencana menjadi sangat penting sebagai instrumen kebijakan pemerintah daerah. Peraturan Daerah Kabupaten Bogor tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Tahun 2024-2044 telah menetapkan kebijakan ruang dan fungsi lahan, termasuk identifikasi zona rawan, sempadan sungai, serta batas kelerengan yang diperbolehkan untuk permukiman [5].

Permasalahan izin mendirikan bangunan hunian di wilayah rawan terjadi ketika peraturan tata ruang dan dokumen regulasi seperti Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) tidak sepenuhnya selaras dengan peta potensi bahaya alam, atau ketika kepatuhan terhadap regulasi sempadan sungai, kemiringan lereng, dan daya dukung tanah masih rendah. Sebagai contoh, studi evaluasi terhadap RTRW Kabupaten Bogor untuk Kecamatan Tanjungsari menemukan bahwa penggunaan lahan dalam RTRW kadangkala tidak memperhitungkan parameter curah hujan, kelerengan, dan jenis tanah dalam peta kerawanan longsor sehingga beberapa wilayah yang dipetakan rawan masih dialokasikan sebagai zona pemukiman [6]. Meski demikian, terdapat laporan bahwa pelaksanaan izin bangunan belum selalu memperhatikan data risiko secara sistematis. Beberapa rumah masih dibangun di dekat aliran sungai atau lereng curam tanpa mitigasi memadai. Kejadian tanah longsor di Desa Buanajaya, Kecamatan Tanjungsari pada Mei 2023 akibat hujan lebat dan struktur tanah yang labil menjadi contoh nyata bahwa izin dan pengendalian ruang belum selalu mengantisipasi kondisi risiko lingkungan [7].

Urgensi penelitian ini diperkuat oleh fakta bahwa keputusan perizinan bangunan memiliki implikasi langsung terhadap keselamatan jiwa dan kerugian sosial-ekonomi ketika bencana terjadi, serta perlunya kebijakan yang dapat mengintegrasikan data risiko ke dalam dokumen perizinan dan tata ruang. Dari sisi kebijakan, transformasi IMB ke PBG (PP No. 16/2021) menuntut penilaian kelayakan bangunan yang konsisten dengan RTRW, sempadan, dan standar teknis, namun praktiknya masih menghadapi disparitas kapasitas, ketersediaan data spasial, dan konsistensi penegakan di daerah [8][9]. Ketidaksesuaian izin dengan risiko lingkungan berpotensi memperbesar kerugian saat bencana, misalnya ketika permukiman tumbuh di dekat alur sungai/lereng curam tanpa mitigasi memadai. Pada saat yang sama, literatur GIS–MCDM di Indonesia dan kawasan menunjukkan kematangan pendekatan penilaian kesesuaian lahan/risiko banjir yang dapat diadopsi dalam konteks perizinan (AHP/TOPSIS untuk peta risiko dan *shelter suitability*, serta GIS-MCA untuk kesesuaian permukiman) [10][11]. Dengan demikian, ada celah kebijakan-teknis untuk menjembatani regulasi perizinan bangunan dengan bukti ilmiah berbasis risiko.

Dalam menjawab tantangan tersebut, *decision support system* (DSS) relevan sebagai instrumen pengambilan keputusan yang mengintegrasikan data spasial (kemiringan, elevasi, jarak sungai), indikator

hidrometeorologi (curah hujan, frekuensi/kedalaman genangan), dan ketentuan tata ruang (RTRW, sempadan) untuk menghasilkan keputusan izin yang objektif, transparan, dan berbasis risiko. Tinjauan mutakhir menunjukkan DSS berperan memperkuat ketahanan komunitas melalui pemodelan multikriteria dan skenario kebijakan, serta efektif pada domain konstruksi dan prasarana untuk meningkatkan kualitas keputusan dan akuntabilitas proses [12][13]. Pendekatan ini memberi dasar untuk mengklasifikasikan permohonan izin hunian di zona rawan menjadi *Go* (layak), *Mitigasi Khusus* (izin bersyarat dengan syarat teknis), atau *No-Go* (tidak layak) secara dapat diaudit.

Rumusan masalah penelitian ini mencakup penentuan kriteria yang relevan berdasarkan literatur ilmiah dan regulasi untuk menilai kelayakan izin bangunan hunian di kawasan rawan longsor dan/atau banjir di Kabupaten Bogor, perancangan kerangka *decision support system* (DSS) berbasis aturan yang memadukan regulasi, risiko bencana, dan kondisi tapak untuk menghasilkan keputusan *Go*, *Mitigasi*, atau *No-Go*, serta perumusan *policy matrix* yang menyokong konsistensi pelaksanaan PBG dan RTRW di tingkat daerah. Tujuan penelitian yaitu mengidentifikasi dan menyintesis kriteria teknis serta batasan regulatif yang relevan, merancang alur keputusan DSS yang ringkas dan dapat diaudit dan menyusun *policy matrix* keputusan izin berbasis risiko.

Manfaat penelitian ini meliputi aspek akademis, praktis, dan kebijakan. Secara akademis, penelitian ini memperkaya substansi kajian *decision support system* (DSS) dalam konteks kebencanaan dan perizinan di Indonesia. Secara praktis, penelitian ini menyediakan kerangka evaluasi yang dapat menstandarkan proses pengambilan keputusan pada dinas perizinan dan BPBD. Secara kebijakan, penelitian ini memperkuat akuntabilitas serta keselarasan pelaksanaan PBG dengan upaya mitigasi bencana melalui integrasi bukti ilmiah dalam proses pengambilan keputusan.

Penelitian ini memiliki kebaruan dibandingkan kajian sebelumnya karena tidak hanya menyoroti aspek teknis kerentanan bencana atau kesesuaian tata ruang secara terpisah, tetapi mengintegrasikan regulasi tata ruang (RTRW Kabupaten Bogor 2024–2044), kebijakan perizinan bangunan (PP No. 16 Tahun 2021 tentang PBG), serta indikator geoteknik dan hidrologi yang terukur ke dalam kerangka *rule-based expert system*. Pendekatan ini menghasilkan *policy matrix* yang mampu menjembatani bukti ilmiah, standar teknis, dan regulasi hukum dalam satu sistem pendukung keputusan perizinan bangunan berbasis risiko bencana.

II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan studi literatur dengan pendekatan *scoping review* untuk merumuskan kerangka *decision support system* (DSS) berbasis aturan dalam mengevaluasi kelayakan izin mendirikan bangunan hunian di kawasan rawan longsor dan banjir. Pemilihan *scoping review* dilakukan karena tujuan penelitian adalah memetakan kriteria, indikator, dan model pengambilan keputusan dari beragam literatur serta regulasi yang relevan, bukan melakukan sintesis kuantitatif hasil seperti pada *systematic review*. Dengan demikian, *scoping review* memungkinkan identifikasi yang lebih luas atas konsep dan bukti ilmiah yang dapat diturunkan menjadi aturan operasional (*if-then rules*) dalam kerangka DSS berbasis sistem pakar yang relevan tanpa melakukan pengumpulan data primer di lapangan [14].

Sumber literatur yang digunakan meliputi artikel jurnal ilmiah periode 2020–2025 yang membahas model kerentanan longsor dan banjir, tata ruang, serta pengembangan *decision support system* berbasis MCDM, seperti *analytic hierarchy process* (AHP), TOPSIS, dan SAW. Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data Scopus, SpringerLink, dan Google Scholar dengan kata kunci *landslide susceptibility*, *flood risk*, *decision support system*, *GIS-MCDM*, *building permit*, dan *bencana Bogor*. Dokumen kebijakan yang dijadikan rujukan meliputi Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021 tentang Bangunan Gedung serta Peraturan Daerah Kabupaten Bogor Nomor 1 Tahun 2024 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW). Selain itu, sumber data kelembagaan diperoleh dari BNPB, BPBD Kabupaten Bogor, serta hasil

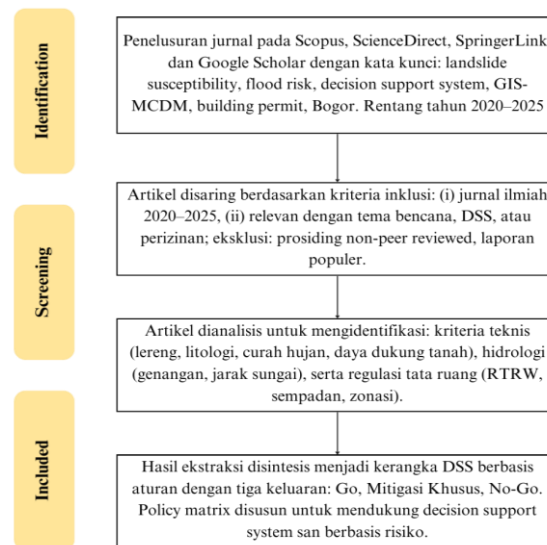
penelitian lembaga riset yang menyediakan data potensi longsor dan banjir di wilayah Bogor [15][16].

A. Prosedur Scoping Review

Prosedur *scoping review* pada Gambar 1 dilakukan mengikuti kerangka PRISMA-ScR yang terdiri dari tahapan: *identification*, *screening*, dan *included*.

B. Ekstraksi Kriteria

Setelah dilakukan penelaahan sistematis terhadap literatur yang telah diseleksi, kriteria kelayakan perizinan diklasifikasikan ke dalam tiga aspek utama sebagaimana ditunjukkan pada Tabel I.



Gambar 1 Proses *scoping review*

TABEL I
TABEL INDIKATOR

Aspek	Indikator dan Justifikasi Ilmiah
Geoteknik	Kemiringan lereng memengaruhi kestabilan; naiknya kelas lereng meningkatnya hazard (Bogor–Sukajaya, RF).
Geoteknik	Litologi (tuf/batuan vulkanik lapuk) meningkatkan kelongsoran; faktor standar pada LSM.
Geoteknik	Daya dukung tanah untuk kelayakan fondasi.
Hidrologi	Kedalaman genangan untuk klasifikasi bahaya.
Hidrologi	Frekuensi/periode ulang menentukan eksposur berulang & kerugian.
Hidrologi	Jarak ke sungai/jaringan aliran menaikkan kerentanan.
Regulasi	Kesesuaian RTRW sebagai <i>hard constraint</i> .
Regulasi	Sempadan sungai wajib bebas bangunan.
Perizinan	PBG (PP 16/2021) mewajibkan kesesuaian ruang & standar teknis. disusun untuk mendukung <i>decision support system</i> san berbasis risiko.

1) Geoteknik

Kemiringan lereng merupakan prediktor utama kerentanan longsor di Bogor. Pemodelan *random forest* pada Kecamatan Sukajaya menunjukkan bahwa kemiringan berkontribusi besar terhadap risiko, selaras dengan morfologi perbukitan Jawa Barat. Kelas lereng <15%, 15–30%, dan >30% berkorelasi langsung dengan stabilitas lereng dengan kemiringan >30% dikategorikan *No-Go*, sedangkan 15–30% masih memungkinkan dengan mitigasi teknis, seperti turap dan drainase lereng [17][18]. Litologi vulkanik lapuk (tuf, breksi, lempung) serta tanah berstruktur lemah meningkatkan potensi kelongsoran dan menjadi faktor pengendali penting bersama lereng dan tutupan lahan [19]. Daya dukung tanah (*bearing capacity*) juga krusial dalam menentukan jenis fondasi (tiang/*raft*), terutama di tanah jenuh atau kompresibel, dan diklasifikasikan sebagai kriteria utama dalam kesesuaian lahan permukiman [20].

2) Hidrologi

Kedalaman genangan menjadi indikator utama bahaya banjir. BNPB menetapkan ambang <0,5 m (rendah), 0,5–1,5 m (sedang), dan >1,5 m (tinggi); ambang $\geq 1,0$ m ditetapkan sebagai *No-Go*, sedangkan 0,5–1,0 m masuk kategori Mitigasi Khusus (rumah panggung atau elevasi lantai) [21]. Frekuensi banjir (*return period*) berbanding lurus dengan tingkat kerusakan; peningkatan kejadian hujan ekstrem di Jawa dalam dua dekade terakhir memperkuat relevansi indikator ini [22]. Jarak dari badan air merupakan faktor dominan dalam pemodelan kerentanan banjir berbasis GIS-MCDM; wilayah dekat sungai utama diklasifikasikan Mitigasi/*No-Go* [23][24]. Selain itu, curah hujan ekstrem terbukti memperbesar limpasan dan memicu banjir kilat di Jabodetabek, menjadikannya variabel penting dalam penilaian kesesuaian ruang [25].

3) Regulasi Tata Ruang dan Perizinan

Aspek ini menjadi *hard constraint* dalam kerangka DSS. Kesesuaian terhadap RTRW Kabupaten Bogor 2024–2044 menjadi syarat utama: zona lindung, sempadan, atau rawan tinggi otomatis menghasilkan keputusan *No-Go* [26]. Sempadan sungai diatur melalui PP 38/2011 yang menetapkan larangan pemanfaatan ruang sempadan sebagai batas keselamatan. Pelanggarannya langsung dinyatakan *No-Go*. Sementara itu, PP 16/2021 tentang Bangunan Gedung mengubah IMB menjadi PBG dan mewajibkan kesesuaian dengan RTRW serta pemenuhan standar teknis sebagai dasar persetujuan. Aturan ini diadopsi langsung ke dalam sistem DSS [27].

C. Sintetis Model Decision Support System (DSS)

Hasil sintesis menghasilkan kerangka DSS yang dikembangkan dengan pendekatan *rule-based expert system*. Dari sisi perancangan DSS, kerangka yang diusulkan pada Tabel II menggunakan metode berbasis logika dan kecerdasan buatan, khususnya *rule-based expert system*. Pengetahuan (aturan *if-then*)

TABEL II
KERANGKA KEPUTUSAN *DECISION SUPPORT SYSTEM*

Aspek	Kriteria Utama	Kategori Resiko	Keputusan
Regulasi	Kawasan lindung, sempadan sungai	Melanggar RTRW	No-Go
Geoteknik	Lereng >30%, litologi rapuh	Tinggi	No-Go
Geoteknik	Lereng 15–30%, tanah labil	Sedang	Mitigasi
Hidrologi	Genangan >1 m / tahunan	Tinggi	No-Go
Hidrologi	Genangan 0,3–1 m	Sedang	Mitigasi
Tapak	Daya dukung rendah	Sedang	Mitigasi

dikodifikasi dalam *knowledge base* dan diproses oleh *inference engine (forward chaining)* untuk menghasilkan tiga gerbang keputusan, yaitu *Gate-1 (Regulasi)*, *Gate-2 (Risiko Bencana)*, dan *Gate-3 (Kondisi Tapak)*. Klasifikasi ini sejalan dengan definisi baku sistem pakar berbasis aturan dalam literatur *AI/knowledge-based systems* dan kaitannya dengan DSS [28][29].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Scoping Review Literatur

Proses *scoping review* mengikuti alur PRISMA-ScR sebagaimana dijelaskan pada bagian metodologi. Ringkasan studi representatif periode 2020–2025 yang disajikan pada Tabel III diperoleh sejumlah artikel *peer-reviewed* yang memenuhi kriteria inklusi dan dapat dikelompokkan dalam tiga tema utama: (i) kerentanan longsor berbasis GIS dan *machine learning*; (ii) risiko banjir serta kesesuaian ruang permukiman; dan (iii) *decision support system (DSS)* dan GIS-MCDM untuk tata ruang dan perizinan bangunan. Mayoritas studi yang menggunakan pendekatan MCDM (AHP, TOPSIS, SAW, ANP) diikuti model statistik atau *machine learning (frequency ratio, logistic regression, random forest, SVM)* untuk pemetaan kerentanan. Secara tematik, kemiringan lereng dan curah hujan muncul sebagai determinan utama kelongsoran, sedangkan kedalaman genangan dan jarak sungai menjadi indikator paling relevan untuk kebijakan perizinan di wilayah banjir. Ambang lereng $>30\%$ dan genangan ≥ 1 m umumnya dikategorikan No-Go, sedangkan rentang 15–30% dan 0,5–1,0 m diklasifikasikan sebagai Mitigasi Khusus. Litologi vulkanik lapuk dan tanah jenuh memperkuat potensi longsor, sementara banjir berulang menunjukkan eksposur yang memerlukan mitigasi teknis.

Pada aspek regulasi, literatur menegaskan pentingnya integrasi peta bahaya dengan RTRW dan ketentuan PBG dengan kawasan lindung dan sempadan sungai menjadi *hard constraint* dalam izin bangunan. Sintesis ini mendasari kerangka DSS dengan tiga gerbang keputusan: *Gate-1 (Regulasi)*, *Gate-2 (Risiko Bencana)*, dan *Gate-3 (Kondisi Tapak)*. Formulasi ini diterjemahkan dalam *policy matrix* keputusan Go, Mitigasi, dan No-Go yang memastikan keputusan perizinan dapat diaudit dan siap diintegrasikan ke sistem SIMBG secara operasional.

B. Sintetis Kriteria Kelayakan

Sintesis literatur mengelompokkan kriteria kelayakan izin bangunan hunian ke dalam tiga aspek utama seperti pada Tabel IV, yaitu: Geoteknik, Hidrologi, dan Regulasi Tata Ruang. Setiap aspek diturunkan menjadi indikator terukur serta ambang keputusan operasional dalam *decision support system (DSS)*. Prinsip utamanya: (i) regulasi berperan sebagai *hard constraint* (pelanggaran menghasilkan keputusan No-Go); (ii) risiko teknis (geoteknik–hidrologi) menentukan kategori Go atau Mitigasi Khusus; dan (iii) kondisi tapak mengarahkan syarat teknis seperti elevasi lantai, jenis fondasi, atau drainase lereng.

Pada aspek Geoteknik, kemiringan lereng merupakan penentu utama kelongsoran. Lereng $>30\%$ dikategorikan No-Go, sementara 15–30% masih dapat dibangun dengan Mitigasi Khusus, seperti turap dan drainase. Litologi dan daya dukung tanah juga memengaruhi stabilitas lereng dan jenis fondasi yang direkomendasikan. Aspek Hidrologi menekankan kedalaman genangan sebagai indikator bahaya operasional, yaitu genangan $\geq 1,0$ m ditetapkan No-Go dan 0,5–1,0 m dikategorikan mitigasi bersyarat. Frekuensi banjir menggambarkan tingkat eksposur berulang yang memerlukan mitigasi minimal. Aspek Regulasi Tata Ruang menjadi fondasi hukum. Pelanggaran terhadap RTRW, sempadan sungai/tebing, atau ketidakpatuhan terhadap PBG dan SNI langsung menghasilkan keputusan No-Go, tanpa mempertimbangkan faktor teknis lainnya. Integrasi seluruh indikator ini membentuk *policy matrix* yang menetapkan tiga kategori akhir, yaitu No-Go (pelanggaran regulasi, lereng $>30\%$, genangan ≥ 1 m), Mitigasi Khusus (lereng 15–30%, genangan 0,5–1,0 m, atau daya dukung rendah), dan Go (memenuhi semua kriteria

risiko rendah dan standar teknis). Formulasi ini menjamin keputusan perizinan berbasis bukti, dapat diaudit, dan selaras dengan kebijakan tata ruang nasional.

C. Kerangka DSS Berbasis Aturan (*Rule-Based Expert System*)

Sebagai penegasan pemilihan pendekatan, Tabel V menyajikan perbandingan antara metode MCDM yang umum digunakan dalam literatur. Perbandingan ini menekankan bahwa keputusan regulasi memerlukan *hard constraint* serta jejak keputusan yang mudah diaudit sehingga *rule-based system* dipilih sebagai kerangka operasional pada penelitian ini. Perbedaan kunci terletak pada sifat keputusan. Pada MC-

TABEL III
RINGKASAN STUDI REPRESENTATIF (2020–2025), METODE, DAN RELEVANSI KE KRITERIA

ID	Fokus dan Wilayah	Bahaya	Metode Utama	Kreteria/Indikator Kunci yang Diangkat	Relavansi ke DSS Perizinan
S1	Kerentanan longsor, perbukitan Jawa Barat	Longsor	RF, LR	Lereng, litologi, elevasi, curah hujan	Lereng >30% dan litologi lapuk → kandidat No-Go
S2	<i>Susceptibility</i> longsor kawasan Sukajaya	Longsor	FR, AUC	Lereng, jarak patahan, NDVI, hujan	Konfirmasi bobot lereng dan hujan; dasar <i>gate</i> risiko
S3	Risiko banjir kawasan peri-urban Jabodetabek	Banjir	AHP-GIS	Kedalaman genangan, jarak sungai, kemiringan mikro	Ambang kedalaman (≥ 1 m) → No-Go; 0,5–1 m → Mitigasi
S4	Kesesuaian permukiman berbasis risiko	Multi	TOPSIS-GIS	Lereng, drainase, akses, RTRW	Menjembatani kriteria fisik–regulasi untuk izin
S5	<i>Blue-green infrastructure</i> dan banjir kota	Banjir	SAW-GIS	Genangan, koefisien limpasan, ruang terbuka	Mitigasi teknis (retensi/bioretensi) untuk izin bersyarat
S6	Pemetaan bahaya banjir sungai menengah	Banjir	HEC-RAS +AHP	Kedalaman dan kecepatan aliran	Aturan elevasi lantai & perlindungan utilitas
S7	Evaluasi risiko longsor permukiman	Longsor	ANP-GIS	Lereng, litologi, jarak tebing	Syarat penahan lereng & drainase lereng (mitigasi)
S8	Indeks kerentanan banjir kecamatan	Banjir	PCA + AHP	Frekuensi kejadian, kedalaman, paparan	Frekuensi > tahunan → Mitigasi/No-Go
S9	DSS lokasi <i>shelter</i> /infrastruktur	Multi	AHP-TOPSIS	Akses, keselamatan, jarak bahaya	Menyediakan <i>template</i> penalaran MCDM untuk izin
S10	<i>Land suitability</i> permukiman	Multi	SAW-GIS	Daya dukung tanah, drainase, akses	DDT rendah → fondasi tiang/raft (Mitigasi)
S11	Integrasi RTRW & <i>hazard mapping</i>	Multi	<i>Overlay</i> aturan	Zonasi, sempadan, lindung	Pelanggaran RTRW/semPadan → No-Go (<i>hard constraint</i>)
S12	DSS kebijakan bangunan/perkotaan	Multi	Kerangka DSS	<i>Data–Model–Knowledge–UI</i>	Menjadi “kerangka payung” DSS izin berbasis aturan

DM agregasi berbobot bersifat kompensatoris (*trade-off*) sehingga skor tinggi pada sebagian kriteria dapat menutupi kelemahan pada kriteria lain. Mekanisme ini efektif untuk pemetaan dan prioritas wilayah, tetapi kurang tepat untuk keputusan perizinan yang mensyaratkan kepatuhan aturan secara absolut.

Dalam konteks RTRW dan sempadan, pelanggaran merupakan *hard constraint* yang tidak dapat dinegosiasikan melalui pembobotan. DSS berbasis aturan bersifat nonkompensatoris yang mengeksekusi ketentuan wajib secara deterministik dan menghasilkan audit *trail* (aturan menghasilkan keputusan) sehingga alasan No-Go atau Mitigasi Khusus dapat dijelaskan dan dipertanggungjawabkan. Karena itu, MCDM lebih sesuai diposisikan sebagai masukan pemetaan risiko, sedangkan *rule-based expert system* digunakan sebagai kerangka operasional keputusan izin.

Kerangka *decision support system* (DSS) dirancang dengan pendekatan berbasis aturan (*rule-based expert system*) yang menerapkan tiga gerbang keputusan secara berurutan. Gate-1 (Regulasi) berfungsi se-

TABEL IV
KRITERIA, INDIKATOR, DAN AMBANG KELAYAKAN IZIN BANGUNAN HUNIAN

Aspek	Kriteria	Indikator Terukur	Metode Utama	Implikasi
Geoteknik	Kemiringan lereng	<i>Slope</i> (%)	< 15% → <i>Go</i> ; 15–30% → Mitigasi Khusus; > 30% → <i>No-Go</i>	Lereng curam menaikkan potensi longsor
Geoteknik	Litologi/jenis tanah	Kelas batuan/tanah (stabil vs lapuk/lempung)	Stabil → <i>Go</i> ; Lapuk/lempung → Mitigasi/ <i>No-Go</i> (bergantung lereng & drainase)	Kontrol kekuatan geser dan pelapukan
Geoteknik	Daya dukung tanah	Qu (kg/cm ²) atau klasifikasi daya dukung	Rendah → Mitigasi (fondasi tiang/raft, perbaikan tanah); Memadai → <i>Go</i>	Cegah penurunan diferensial
Hidrologi	Kedalaman genangan	Tinggi air (m) pada kejadian rujukan	< 0,5 m → <i>Go</i> ; 0,5–1,0 m → Mitigasi (rumah panggung/elevasi lantai, utilitas dinaikkan); ≥ 1,0 m → <i>No-Go</i>	<i>Surrogate</i> tingkat bahaya banjir
Hidrologi	Frekuensi banjir	Kejadian/ <i>return period</i>	Rendah → Mitigasi (fondasi tiang/raft, perbaikan tanah); Memadai → <i>Go</i>	Menilai eksposur berulang
Hidrologi	Jarak dari badan air	<i>Buffer</i> (m) dari tepi sungai/saluran	Di dalam sempadan → <i>No-Go</i> ; Di luar sempadan → lanjut evaluasi lain	Proksi paparan dan keselamatan
Regulasi	Kesesuaian RTRW	Zonasi peruntukan ruang	Tidak sesuai zonasi → <i>No-Go</i>	<i>Hard constraint</i> kebijakan ruang
Regulasi	Sempadan sungai/tebing	Ketentuan jarak minimum (kelas sungai/tebing)	Melanggar sempadan → <i>No-Go</i>	Lindungi ruang sungai & stabilitas
Perizinan	Kepatuhan teknis PBG/SNIs	Persyaratan PBG & standar teknis bangunan	Tidak memenuhi → <i>No-Go</i> ; Memenuhi → sesuai hasil risiko (<i>Go</i> /Mitigasi)	Legal–teknis perizinan bangunan

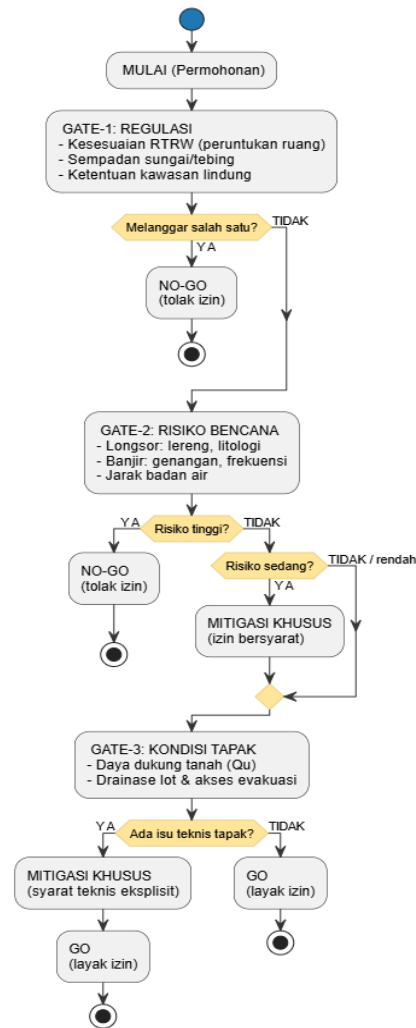
bagai batasan mutlak (*hard constraint*) yang tidak dapat ditawar. Pelanggaran pada tahap ini secara otomatis menghasilkan keputusan *No-Go*. Analisis kemudian berlanjut ke Gate-2 (Risiko Bencana) yang mengklasifikasikan tingkat bahaya longsor dan banjir berdasarkan kriteria operasional. Pada Gate-3 (Kondisi Tapak), syarat teknis residual seperti daya dukung tanah rendah atau kondisi drainase lahan yang buruk tidak secara langsung menolak izin, tetapi memicu penerapan Mitigasi Khusus, seperti penggunaan fondasi tiang atau *raft*, perbaikan tanah, peningkatan sistem drainase, serta pengaturan akses dan jalur evakuasi. Apabila tidak terdapat isu residual dan seluruh prasyarat terpenuhi, sistem memberikan keputusan *Go*.

Setiap keputusan dapat ditelusuri ke indikator terukur, seperti persentase kemiringan lereng, kedalaman genangan, dan kelas litologi, serta aturan yang dinyatakan secara eksplisit sehingga memudahkan pembuktian administratif dan komunikasi kepada pemohon. Dengan demikian, kerangka *rule-based expert system* ini memadukan kepatuhan terhadap tata ruang (Gate-1), penilaian risiko operasional (Gate-2), dan penetapan syarat teknis (Gate-3) ke dalam satu alur keputusan yang auditabel, transparan, dan siap dioperasionalkan untuk perizinan bangunan hunian di kawasan rawan longsor dan banjir.

Cara kerja kerangka pada Gambar 2 menetapkan prioritas aturan secara jelas melalui tiga gerbang keputusan. Gerbang-1 (Regulasi) berfungsi sebagai batasan keras sehingga ketidaksesuaian dengan RTRW misalnya berada di kawasan lindung (konservasi) atau pelanggaran sepadan sungai maupun tebing akan langsung menghasilkan keputusan *No-Go*. Keputusan ini tetap berlaku meskipun indikator teknis lainnya tampak baik. Dengan logika tersebut, kepatuhan terhadap kebijakan ruang dan keselamatan publik ditempatkan sebagai syarat yang tidak dapat dinegosiasikan. Gate-2 (Risiko Bencana) menilai tingkat bahaya operasional berdasarkan klasifikasi risiko. Untuk longsor, kemiringan lereng digunakan sebagai indikator utama, kemudian diperkuat oleh kondisi litologi yang lapuk atau kedekatan dengan tebing. Lereng di atas 30% direkomendasikan berisiko tinggi dan memutuskan *No-Go*, terutama bila didukung faktor geologi yang mendukung kestabilan. Pada rentang 15–30%, lokasi masih dapat dipertimbangkan, tetapi harus disertai mitigasi khusus seperti turap atau dinding penahan, perbaikan drainase lereng, revegetasi, dan audit geoteknik. Jika kemiringan di bawah 15%, lokasi dapat melanjutkan penilaian ke tahap berikutnya.

TABEL V
PERBANDINGAN MCDM DAN DSS BERBASIS ATURAN UNTUK KEPUTUSAN PERIZINAN

Aspek	MCDM (AHP/TOPSIS/SAW/ANP)	DSS <i>Rule-Based</i>
Tujuan utama	Pemetaan kesesuaian/kerentanan & prioritas wilayah (spasial)	Keputusan izin per kasus (Go/Mitigasi/No-Go)
Perlakuan regulasi	Umumnya jadi kriteria berbobot berpotensi <i>trade-off</i>	<i>Hard constraint</i> : pelanggaran aturan No-Go (<i>non-negotiable</i>)
Logika keputusan	Cenderung kompensatoris (nilai tinggi bisa menutupi pelanggaran)	Non-kompensatoris untuk aturan wajib; eksekusi deterministik
Transparansi & audit trail	Jejak alasan tidak langsung; sensitif pada bobot/normalisasi	Jejak keputusan jelas (aturan keputusan), mudah diaudit
Keterjelasan alasan ke pemohon	Fokus pada skor/ranking; alasan detail sering tidak eksplisit	Menunjukkan syarat mana yang gagal/terpenuhi (<i>explainable</i>)
Kesesuaian untuk SIMBG	Cocok sebagai <i>input</i> peta/zonasi risiko	Cocok sebagai <i>rule engine</i> keputusan izin dan pencatatan keputusan



Gambar 2 *Flowchart* kerangka keputusan DSS

Untuk banjir, kedalaman dan frekuensi kejadian dipakai sebagai indikator utama. Genangan setinggi 1,0 meter atau lebih, atau banjir yang terjadi berulang setiap tahun diperlakukan sebagai kondisi No-Go karena risiko operasionalnya terlalu tinggi. Pada kedalaman 0,5–1,0 meter, keputusan tidak langsung ditolak, tetapi mewajibkan mitigasi khusus seperti elevasi lantai atau rumah panggung, penempatan utilitas pada tingkat lebih tinggi, pemasangan katup balik, serta penerapan bioretensi pada lahan. Jika wadah berada di bawah 0,5 meter, lokasi dapat dinilai lebih lanjut. Jarak ke badan air digunakan sebagai indikator tambahan untuk merepresentasikan paparan, dengan catatan bahwa pelanggaran sempadan sudah disaring pada Gate-1, sedangkan jarak aman di luar sepadan tetap dievaluasi bersama indikator lainnya. Gate-3 (Kondisi Tapak) berfungsi menilai syarat teknis sisa yang tidak selalu berakhir pada penolakan. Daya mendukung tanah yang rendah atau drainase lahan yang buruk tidak secara otomatis menghasilkan No-Go, tetapi memicu kewajiban mitigasi khusus. Bentuk mitigasi dapat berupa penggunaan pondasi tiang atau rakit, perbaikan tanah, peningkatan sistem drainase, serta pengaturan akses dan jalur evakuasi. Apabila tidak ditemukan masalah sisa dan seluruh persyaratan terpenuhi, maka keputusan Go dapat diberikan.

Setiap keputusan dapat ditelusuri kembali ke indikator yang diukur, seperti persentase kemiringan lereng, kedalaman kedalaman, dan kelas litologi, serta aturan yang dinyatakan secara eksplisit. Ketertelusuran ini memudahkan pembuktian administratif dan memperjelas komunikasi keputusan kepada pemohon. Dengan demikian, kerangka sistem pakar berbasis aturan yang memadukan tampilan tata ruang (Gate-1), penilaian risiko operasional (Gate-2), dan penetapan kondisi teknis (Gate-3) menjadi alur yang

auditabel, transparan, dan siap dioperasionalkan untuk mendukung keputusan izin bangunan tempat tinggal di kawasan rawan longsor dan banjir.

D. *Policy Matrix Keputusan Izin*

Policy matrix pada Tabel VI memetakan kondisi menjadi tiga keputusan utama, yaitu *Go* (layak), Mitigasi Khusus (layak bersyarat), dan *No-Go* (tidak layak). Matriks ini merealisasikan aturan pada *Gate-1* (Regulasi), *Gate-2* (Risiko Bencana), dan *Gate-3* (Kondisi Tapak) agar keputusan konsisten, transparan, dan dapat diaudit. Kategori *No-Go* diterapkan untuk pelanggaran terhadap RTRW atau sempadan sungai, kemiringan $>30\%$, serta zona genangan $\geq 1,0$ m (R1/L1/B1) karena risiko keselamatannya tidak dapat ditoleransi. Untuk lokasi berisiko sedang, izin diberikan dengan Mitigasi Khusus, misalnya genangan $0,3 - <1,0$ m (B2) dengan syarat rumah panggung, elevasi lantai, dan sistem drainase tambahan, atau lereng $15 - 30\%$ (L2) dengan dinding penahan dan revegetasi.

E. *Simulasi Hipotesis Penerapan DSS Rule-Based Expert System*

Untuk memperkuat validasi konseptual disajikan simulasi hipotetis penerapan kerangka *decision support system* (DSS) berbasis aturan pada kasus izin mendirikan bangunan di Kabupaten Bogor. Simulasi ini bertujuan untuk mengilustrasikan *policy matrix* dan alur *Gate-1* (Regulasi), *Gate-2* (Risiko Bencana), dan *Gate-3* (Kondisi Tapak) bekerja menghasilkan keputusan.

1) *Kasus Hipotesis*

Seorang warga mengajukan izin mendirikan rumah di Desa X. Rincian aspek dan data teknis lokasi pada kasus hipotesis ini disajikan pada Tabel VII.

2) *Proses Evaluasi DSS*

Hasil evaluasi pada setiap gerbang keputusan (*Gate-1* hingga *Gate-3*) dirangkum pada Tabel VIII.

3) *Proses Evaluasi DSS*

Keputusan akhir DSS beserta syarat teknis yang direkomendasikan ditampilkan pada Tabel IX.

Meskipun lokasi sesuai RTRW dan tidak melanggar sempadan sungai, kondisi lereng sedang, litologi lapuk, dan banjir tahunan menjadikan lokasi berisiko. DSS menetapkan izin hanya dapat diberikan dengan syarat mitigasi teknis. Simulasi ini membuktikan aturan *if-then* dalam *rule-based expert system* bekerja konsisten dan menghasilkan keputusan yang transparan serta dapat diaudit.

F. *Implikasi Kebijakan dan Praktis*

Implikasi penelitian ini mencakup aspek akademis, praktis, dan kebijakan. Dari sisi akademis, kerangka *decision support system* (DSS) berbasis aturan memperkuat literatur mengenai sistem pendukung keputusan kebencanaan, khususnya dalam konteks izin bangunan di Indonesia. Kerangka DSS berbasis aturan menjembatani peta bahaya, indikator teknis, dan regulasi tata ruang menjadi dasar keputusan yang objektif.

Penggunaan metode *scoping review* juga memungkinkan sintesis lintas-studi yang menghasilkan kriteria, indikator, dan ambang kelayakan yang transparan serta dapat dikalibrasi ulang melalui riset lanjutan, termasuk validasi spasial dan uji sensitivitas. Secara praktis, kerangka ini dapat digunakan oleh dinas perizinan dan BPBD sebagai panduan evaluasi teknis dalam proses izin bangunan. Alur penilaian (Regulasi, Risiko, Tapak) dapat diterapkan sebagai SOP standar dengan *policy matrix* sebagai acuan keputusan *Go*, Mitigasi, atau *No-Go*. Implementasi menuntut ketersediaan data minimum (RTRW, peta sempadan, peta rawan bencana, DEM) dan peningkatan kapasitas petugas melalui pelatihan teknis.

TABEL VI
POLICY MATRIX KEPUTUSAN IZIN BANGUNAN HUNIAN

Kode	Kondisi/Temuan Utama	Keputusan	Syarat Teknis (Bila Berlaku)	Rasional Singkat
R1	Tidak sesuai RTRW, kawasan lindung, atau melanggar sempadan sungai/tebing	<i>No-Go</i>	-	<i>Hard constraint</i> kebijakan ruang & keselamatan sungai/tebing.
L1	Lereng > 30% dan/atau tebing aktif; litologi lapuk/lempung jenuh	<i>No-Go</i>	-	Probabilitas kelongsoran tinggi; risiko gagal stabilisasi.
L2	Lereng 15–30%; indikasi ketidakstabilan sedang (retakan, drainase lereng buruk)	Mitigasi Khusus	Dinding penahan/turap, <i>sub-surface drainage</i> , revegetasi pengikat; audit geoteknik; fondasi tiang/ <i>raft</i> pada titik rawan.	Menurunkan gaya penggerak & meningkatkan faktor keamanan lereng.
L3	Lereng < 15%; litologi relatif stabil	<i>Go</i>	Terapkan SNI ketahanan gempa; drainase lot dasar.	Risiko kelongsoran rendah; cukup standar teknis umum.
B1	Kedalaman genangan $\geq 1,0$ m dan/atau arus kuat; riwayat banjir berulang tahunan	<i>No-Go</i>	-	Bahaya signifikan bagi struktur & penghuni.
B2	Genangan 0,3–<1,0 m dan/atau frekuensi kejadian tinggi (tahunan)	Mitigasi Khusus	Rumah panggung / elevasi lantai $\geq X$ cm (sesuaikan peta genangan), utilitas dinaikkan, katup balik, penutupan celah, bioretensi/kolam retensi lot.	Mengurangi kerusakan dan mempercepat surut.
B3	Genangan < 0,3 m; jarak aman dari alur	<i>Go</i>	Standar drainase lot; <i>rainwater harvesting</i> (opsional).	Paparan banjir rendah.
T1	Daya dukung tanah rendah/kompresibel, potensi penurunan diferensial	Mitigasi Khusus	Perbaiki tanah (<i>preloading/stone column</i>), fondasi tiang/ <i>raft</i> , <i>quality control</i> timbunan & pemadatan.	Menjaga kestabilan & layanan struktur.
A1	Akses evakuasi terbatas (lebar efektif < 6 m) pada zona berisiko sedang/tinggi	Mitigasi Khusus	Rute alternatif, pelebaran/pembersihan hambatan, rambu & penerangan, assembly point yang jelas.	Menjamin keselamatan saat evakuasi.
C1	Semua prasyarat terpenuhi; memenuhi PBG/SNI	<i>Go</i>	Implementasi SNI bangunan & ketentuan PBG berlaku penuh.	Kepatuhan teknis–regulatif terpenuhi.

TABEL VII
ASPEK DAN DATA LOKASI

Aspek	Data Lokasi
Zonasi ruang	Sesuai RTRW (zona permukiman)
Jarak sungai	20 m (di luar sempadan)
Kemiringan lereng	25% (kategori sedang)
Litologi	Tuf vulkanik lapuk
Kedalaman genangan	0,7 m (kejadian tahunan)
Daya dukung tanah	Rendah ($Q_u < 1,5 \text{ kg/cm}^2$)

TABEL VIII
HASIL EVALUASI BERDASARKAN TIGA GERBANG KEPUTUSAN

Gate	Indikator	Indikator
Gate-1 (Regulasi)	RTRW sesuai; sempadan tidak dilanggar	Lolos
Gate-2 (Risiko Bencana)	Lereng 25% (sedang); litologi lapuk; genangan 0,7 m tahunan	Mitigasi Khusus
Gate-3 (Kondisi Tapak)	Daya dukung tanah rendah	Mitigasi Khusus

TABEL IX
KEPUTUSAN TERAKHIR YANG DIBERIKAN DSS

Keterangan	Hasil
Keputusan Akhir	Mitigasi khusus
Syarat Teknis	• Rumah panggung/elevasi lantai $\geq 1 \text{ m}$ • Fondasi tiang/<i>raft foundation</i> • Dinding penahan/turap dan drainase lereng • Utilitas dinaikkan di atas elevasi banjir

Implikasi kebijakan menekankan pentingnya menjadikan PBG dan SIMBG berbasis risiko bencana, bukan sekadar administratif. Aturan dan ambang dari *policy matrix* dapat diintegrasikan ke dalam *rule engine* SIMBG sehingga pelanggaran RTRW otomatis menghasilkan *No-Go*, sementara indikator risiko memicu syarat mitigasi teknis. Harmonisasi dengan Perda RTRW, PP 16/2021, dan SNI memastikan keputusan izin yang konsisten dan berbasis risiko. Secara keseluruhan, kerangka DSS ini berpotensi mengubah proses perizinan menjadi sistem yang lebih transparan, terukur, dan efektif dalam menurunkan risiko bencana pada pembangunan permukiman di Kabupaten Bogor.

IV. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil menyusun kerangka *decision support system* (DSS) berbasis aturan (*rule-based expert system*) untuk mengevaluasi kelayakan izin mendirikan bangunan hunian di kawasan rawan longsor dan banjir di Kabupaten Bogor. Melalui pendekatan studi literatur dengan *scoping review* diidentifikasi tiga kelompok kriteria utama, yaitu geoteknik (kemiringan lereng, litologi, daya dukung tanah), hidrologi (kedalaman dan frekuensi banjir, jarak badan air), serta regulasi tata ruang dan perizinan (RTRW, sempadan sungai/tebing, ketentuan PBG).

Sintesis literatur menunjukkan bahwa indikator geoteknik dan hidrologi dapat dipetakan ke dalam ambang praktis, yaitu lereng $>30\%$ dan genangan $\geq 1,0$ m sebagai *No-Go*; lereng $15\text{--}30\%$ dan genangan $0,5\text{--}1,0$ m sebagai Mitigasi Khusus; serta lereng $<15\%$ dan genangan $<0,5$ m sebagai *Go*, dengan syarat memenuhi RTRW dan PBG. *Gate-1* (Regulasi) ditempatkan sebagai *hard constraint*, *Gate-2* (Risiko Bencana) sebagai klasifikasi bahaya operasional, dan *Gate-3* (Kondisi Tapak) sebagai syarat teknis residual.

Luaran utama penelitian adalah *policy matrix* keputusan izin yang memberikan tiga kategori hasil, yaitu *Go* (layak), Mitigasi Khusus (layak bersyarat dengan syarat teknis eksplisit), dan *No-Go* (tidak layak). *Policy matrix* ini meningkatkan transparansi, konsistensi, dan akuntabilitas proses perizinan serta dapat diintegrasikan dalam Sistem Informasi Manajemen Bangunan Gedung (SIMBG).

Secara keseluruhan, penelitian ini berkontribusi pada aspek akademis (memperkuat literatur DSS kebencanaan berbasis aturan), praktis (menyediakan kerangka siap pakai untuk dinas perizinan dan BPBD), dan kebijakan (mendukung implementasi PBG berbasis risiko bencana). Dengan demikian, kerangka DSS yang diusulkan mampu menjembatani bukti ilmiah, standar teknis, dan regulasi dalam pengambilan keputusan izin bangunan, serta berpotensi menurunkan kerentanan bencana pada pengembangan permukiman di Kabupaten Bogor.

DAFTAR REFERENSI

- [1] S. Trisnafiah *et al.*, “Spatial-based landslide vulnerability index assessment in Bogor area, Indonesia,” *Geosfera Indonesia*, vol. 9, no. 1, Art. no. 16, 2024, doi: 10.19184/geosi.v9i1.43643.
- [2] Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Bogor, “40 kecamatan di Bogor rawan longsor–banjir bandang, ini datanya,” Bogor, Indonesia, 2022. [Online]. Available: <https://bpbd.bogorkab.go.id/berita/Seputar-OPD/40-kecamatan-di-bogor-rawan-longsor-banjir-bandang-ini-datanya>
- [3] P. A. Minarno, M. H. Rauf, and E. S. Faturukhman, “Analisis risiko bencana tanah longsor pada sektor permukiman di wilayah selatan Kabupaten Bogor,” *Jurnal Manajemen Bencana*, vol. 9, no. 1, pp. 35–48, 2023, doi: 10.33172/jmb.v9i1.1560.
- [4] H. P. Rahayu, K. I. Zulfa, D. Nurhasanah, R. Haigh, D. Amaratunga, and I. I. Wahdiny, “Unveiling transboundary challenges in river flood risk management: Learning from the Ciliwung River basin,” *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 24, no. 6, pp. 2045–2064, 2024, doi: 10.5194/nhess-24-2045-2024.
- [5] BAPPEDA PELITBANG Kabupaten Bogor, *Peraturan Daerah Kabupaten Bogor Nomor 1 Tahun 2024 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bogor Tahun 2024–2044*, Bogor, Indonesia, 2024. [Online]. Available: <https://bappedalitbang.bogorkab.go.id/regulasi/77/Perda-No.-1-Tahun-2024-tentang-RTRW-tahun-2024-2044.pdf>
- [6] S. F. Pratiwi, M. D. M. Manessa, and S. Supriatna, “Kajian dan evaluasi bencana tanah longsor di Kecamatan Tanjungsari terhadap RTRW Kabupaten Bogor,” *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, vol. 10, no. 1, pp. 86–96, 2022, doi: 10.14710/jwl.10.1.86-96.
- [7] Pusat Krisis Kesehatan Kementerian Kesehatan RI, “Tanah longsor di Bogor, Jawa Barat, 7 Mei 2023,” Jakarta, Indonesia, 2023. [Online]. Available: <https://pusatkrisis.kemkes.go.id/Tanah-Longsor-di-BOGOR-JAWA-BARAT-07-05-2023-13>
- [8] D. P. Riau, Rulinawaty, D. Siswahyudi, and Muhtarom, “Strategies for implementing building operability certificate to improve performance of building management: A case study in Probolinggo City, Indonesia,” *The Scientific World Journal*, vol. 2024, Art. no. 8749628, 2024, doi: 10.1155/2024/8749628.
- [9] V. D. Purnomo, B. H. C. Handoyo, and S. A. Kadir, “Analysis of regional regulations related to the implementation of regulations for substituting building permits in Bantul Regency,” *Jurnal Pengabdian Masyarakat Formosa*, vol. 1, no. 5, pp. 535–542, 2022, doi: 10.55927/jpmf.v1i5.2269.
- [10] M. Rendana, W. M. R. Idris, S. A. Rahim, H. G. Abdo, H. Almohamad, and A. A. Al-Dughairi, “Flood risk and shelter suitability mapping using geospatial technique for sustainable urban flood management: A case study in Palembang City, South Sumatera, Indonesia,” *Geology, Ecology, and Landscapes*, vol. 9, no. 2, pp. 452–462, 2025, doi:

- 10.1080/24749508.2023.2205717.
- [11] H. Shang *et al.*, “Spatial prediction of landslide susceptibility using logistic regression (LR), functional trees (FTs), and random subspace functional trees (RSFTs) for Pengyang County, China,” *Remote Sensing*, vol. 15, no. 20, Art. no. 4952, 2023, doi: 10.3390/rs15204952.
 - [12] A. Lapidus, A. Makarov, and A. Kozlova, “A decision support system for organizing quality control of buildings construction during the rebuilding of destroyed cities,” *Buildings*, vol. 13, no. 9, Art. no. 2142, 2023, doi: 10.3390/buildings13092142.
 - [13] S. Elkady, J. Hernantes, and L. Labaka, “Decision-making for community resilience: A review of decision support systems and their applications,” *Heliyon*, vol. 10, no. 12, Art. no. e33116, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e33116.
 - [14] E. J. Oktorra, M. Khairunnisa, N. S. Amalia, R. N. S. Kusnadi, H. Ridwan, and P. Haryeti, “Analisis peran berpikir kritis dalam pengambilan keputusan klinis perawat terhadap keselamatan pasien: Kajian scoping review,” *Jurnal Penelitian Inovasi*, vol. 5, no. 2, pp. 2313–2320, 2025, doi: 10.54082/jupin.1492.
 - [15] Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor, “Rekapitulasi kejadian bencana menurut jenis bencana, 2023,” Bogor, Indonesia, 2023. [Online]. Available: <https://bogorkab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MjQ3IzI%3D/rekapitulasi-kejadian-bencana-menurut-jenis-bencana.html>
 - [16] Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia, *Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah Tahun 2025–2045*, Jakarta, Indonesia, 2024. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Download/376619/2024pd3201002.pdf>
 - [17] B. Tjahjono, I. Firdania, and B. H. Trisasongko, “Modeling landslide hazard using machine learning: A case study of Bogor, Indonesia,” *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 14, no. 2, pp. 407–414, 2024, doi: 10.29244/jpsl.14.2.407.
 - [18] I. Nahib *et al.*, “Analysis of factors influencing spatial distribution of soil erosion under diverse subwatershed based on geospatial perspective: A case study at Citarum Watershed, West Java, Indonesia,” *Scientifica*, vol. 2024, Art. no. 7251691, 2024, doi: 10.1155/2024/7251691.
 - [19] K. Sassa, K. Konagai, B. Tiwari, and S. Sassa, *Progress in Landslide Research and Technology*, vol. 1, no. 1. Kyoto, Japan: International Consortium on Landslides, 2022.
 - [20] D. Arfiansyah, H. Han, and S. Zlatanova, “Land suitability analysis for residential development in an ecologically sensitive area: A case study of Nusantara, the new Indonesian capital,” *Sustainability*, vol. 16, no. 13, Art. no. 5767, 2024, doi: 10.3390/su16135767.
 - [21] T. N. A. Kesuma, M. S. B. Kusuma, M. Farid, A. A. Kuntoro, and H. P. Rahayu, “An assessment of flood hazards due to the breach of the Manggarai Flood Gate,” *International Journal of GEOMATE*, vol. 23, no. 95, pp. 104–111, 2022, doi: 10.21660/2022.95.3055.
 - [22] Giarno *et al.*, “Changing of return periods of extreme rainfall using satellite observation in Java Island,” *E3S Web of Conferences*, vol. 464, Art. no. 11005, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202346411005.
 - [23] E. Hidayah, Indarto, W. K. Lee, G. Halik, and B. Pradhan, “Assessing coastal flood susceptibility in East Java, Indonesia: Comparison of statistical bivariate and machine learning techniques,” *Water*, vol. 14, no. 23, Art. no. 3869, 2022, doi: 10.3390/w14233869.
 - [24] D. Ariyani, M. Y. J. Purwanto, E. Sunarti, Perdinan, and A. T. Juniati, “Integrated flood hazard assessment using multi-criteria analysis and geospatial modeling,” *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, vol. 11, no. 4, pp. 6121–6134, 2024, doi: 10.15243/jdmlm.2024.114.6121.
 - [25] S. W. Lubis *et al.*, “Record-breaking precipitation in Indonesia’s capital of Jakarta in early January 2020 linked to the northerly surge, equatorial waves, and MJO,” *Geophysical Research Letters*, vol. 49, no. 22, Art. no. e2022GL101513, 2022, doi: 10.1029/2022GL101513.
 - [26] Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Kabupaten Bogor, *Peraturan Daerah Kabupaten Bogor Nomor 1 Tahun 2024 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bogor Tahun 2024–2044*, Bogor, Indonesia, 2024. [Online]. Available: https://jdih.bogorkab.go.id/tematik/tata_ruang%20wilayah/detail/1804
 - [27] Badan Pembinaan Hukum Nasional, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai*, Jakarta, Indonesia, 2011. [Online]. Available: <https://bphn.go.id/data/documents/11pp038.pdf>
 - [28] S. Rudiarto, S. Dwiasnati, and A. S. Y. Irawan, “Design and build expert system applications using forward chaining methods to manage web-based space management,” *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, vol. 10, no. 2, pp. 9–17, 2022, doi: 10.30574/gjeta.2022.10.2.0115.
 - [29] O. Patil and U. Chavan, “Rule-based expert system for error log analysis,” *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 9, no. 10, pp. 188–192, 2020, doi: 10.35940/ijitee.j7466.0891020.

Dyah Sulistyowati Rahayu. Menempuh jenjang sarjana dan pascasarjana di Teknik Informatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, serta jenjang doktoral di Program Doktor Ilmu Komputer Universitas Indonesia. Saat ini sebagai staf pengajar di Universitas Pancasila. Berminat pada bidang kecerdasan buatan dan *business analytics*.

Nenden Nuraini. Saat ini sedang menempuh jenjang sarjana di Universitas Pancasila. Berminat pada bidang *data science* dan kecerdasan buatan.

Zidan Wali Arubusman. Saat ini sedang menempuh jenjang sarjana di Universitas Pancasila. Berminat pada bidang *data science* dan kecerdasan buatan.

Chaerul Cahyadi. Saat ini sedang menempuh jenjang sarjana di Universitas Pancasila. Berminat pada bidang *software engineer*.