

Tinjauan Faktor Lingkungan Pada Lahan Pegunungan Terhadap Kekuatan Konstruksi Bangunan

Armia*, Romaynoor Ismy, Cut Azizah

Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam, Universitas Almuslim, Bireuen

*Koresponden email: armiasya@gmail.com

Diterima: 05 Juli 2026

Disetujui: 27 Juli 2026

Abstract

Building construction in mountainous areas faces more complex challenges than construction on flat or hilly land due to distinct environmental characteristics. Steep topography, soil materials derived from weathered parent rocks, high rainfall, relatively low temperatures, and variations in groundwater levels are the primary factors influencing foundation stability, soil bearing capacity, and structural safety. This study aims to review the environmental factors affecting the strength of building construction in mountainous areas and to identify the technical measures required to minimize the risk of structural failure. The research employed a qualitative approach through a literature review by searching scientific literature in databases such as Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, and SpringerLink. The literature used consisted of publications from 2020–2025 relevant to geotechnics, engineering geology, hydrology, and construction engineering. A total of 68 documents were identified through the literature search and subsequently screened based on relevance, publication quality, and topic suitability, resulting in 28 references for descriptive analysis. The results indicate that soil material characteristics, weather conditions, and groundwater levels are the dominant factors determining the strength of building construction in mountainous areas. In addition, slope gradient and geological conditions contribute to increasing the potential for soil deformation, erosion, and landslides, which may reduce structural stability.

Keywords: *environmental factors, mountainous land, construction strength, geotechnics, slope stability*

Abstrak

Pembangunan konstruksi bangunan di wilayah pegunungan menghadapi tantangan yang lebih kompleks dibandingkan wilayah datar maupun perbukitan akibat karakteristik lingkungan yang berbeda. Kondisi topografi yang curam, material tanah hasil pelapukan batuan induk, curah hujan yang tinggi, suhu yang relatif rendah, serta variasi muka air tanah menjadi faktor utama yang memengaruhi stabilitas pondasi, daya dukung tanah, dan keamanan struktur bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau faktor-faktor lingkungan pada lahan pegunungan yang berpengaruh terhadap kekuatan konstruksi bangunan serta mengidentifikasi upaya teknis yang diperlukan untuk meminimalkan risiko kegagalan konstruksi. Penelitian menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi pustaka melalui penelusuran literatur pada basis data ilmiah seperti Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, dan SpringerLink. Literatur yang digunakan merupakan publikasi tahun 2020–2025 yang relevan dengan geoteknik, geologi teknik, hidrologi, dan rekayasa konstruksi. Dari hasil penelusuran diperoleh 68 dokumen, kemudian diseleksi berdasarkan relevansi, kualitas publikasi, dan kesesuaian topik sehingga diperoleh 28 referensi yang dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor material tanah, kondisi cuaca, dan muka air tanah merupakan faktor dominan yang menentukan kekuatan konstruksi bangunan pada lahan pegunungan. Selain itu, kemiringan lereng dan kondisi geologi berperan dalam meningkatkan potensi deformasi tanah, erosi, serta longsor yang dapat mengurangi stabilitas struktur.

Kata Kunci: *faktor lingkungan, lahan pegunungan, kekuatan konstruksi, geoteknik, stabilitas lereng*

1. Pendahuluan

Pembangunan konstruksi bangunan merupakan salah satu sektor yang sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat bangunan didirikan. Keberhasilan suatu konstruksi tidak hanya ditentukan oleh kualitas material maupun metode pelaksanaan, tetapi juga oleh karakteristik geologi, topografi, kondisi tanah, hidrologi, dan iklim pada lokasi pembangunan. Kondisi lingkungan tersebut berpengaruh secara langsung terhadap daya dukung tanah, stabilitas pondasi, keamanan struktur, serta umur layanan bangunan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai faktor-faktor lingkungan menjadi salah satu tahapan penting dalam proses perencanaan konstruksi agar bangunan mampu berfungsi secara aman, efisien, dan berkelanjutan.

Wilayah pegunungan merupakan salah satu kawasan yang memiliki karakteristik lingkungan paling kompleks dibandingkan lahan datar maupun perbukitan. Topografi yang didominasi oleh lereng curam menyebabkan pembangunan konstruksi menghadapi berbagai tantangan teknis, seperti kestabilan lereng, potensi longsor, erosi, deformasi tanah, serta kesulitan dalam mobilisasi material dan peralatan konstruksi. Selain itu, kondisi geologi yang bervariasi, material tanah hasil pelapukan batuan induk, curah hujan yang relatif tinggi, perubahan suhu yang cukup ekstrem, serta variasi muka air tanah turut memengaruhi perilaku tanah sebagai media pendukung struktur bangunan. Apabila faktor-faktor tersebut tidak dianalisis secara menyeluruh sejak tahap perencanaan, maka risiko kerusakan konstruksi maupun kegagalan struktur dapat meningkat secara signifikan.

Peningkatan kebutuhan pembangunan infrastruktur di kawasan pegunungan dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat seiring dengan perkembangan permukiman, sektor pariwisata, transportasi, serta fasilitas publik. Kondisi tersebut mendorong pemanfaatan lahan pegunungan sebagai lokasi pembangunan berbagai jenis konstruksi bangunan. Namun demikian, karakteristik lingkungan pegunungan yang berbeda dibandingkan wilayah datar menyebabkan proses perencanaan dan pelaksanaan konstruksi memerlukan perhatian yang lebih besar. Kesalahan dalam mengidentifikasi kondisi lingkungan sejak tahap perencanaan dapat meningkatkan risiko kerusakan struktur, penurunan daya dukung pondasi, hingga kegagalan konstruksi.

Selain kondisi topografi yang curam, pembangunan pada lahan pegunungan juga dipengaruhi oleh interaksi antara faktor geologi, hidrologi, dan iklim. Material tanah yang berasal dari pelapukan batuan memiliki sifat fisik dan mekanik yang bervariasi sehingga memberikan respons yang berbeda terhadap beban konstruksi. Curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan kadar air tanah dan tekanan air pori, sedangkan perubahan muka air tanah memengaruhi kestabilan pondasi serta lereng di sekitar bangunan. Interaksi berbagai faktor tersebut menjadikan pembangunan konstruksi di wilayah pegunungan memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi dibandingkan pembangunan pada lahan datar maupun perbukitan.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan pembangunan konstruksi tidak hanya bergantung pada kualitas material bangunan dan metode pelaksanaan, tetapi juga pada kemampuan dalam memahami karakteristik lingkungan lokasi pembangunan secara menyeluruh. Oleh karena itu, kajian mengenai faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi kekuatan konstruksi bangunan menjadi sangat penting sebagai dasar dalam menentukan strategi perencanaan, pemilihan jenis pondasi, sistem drainase, serta metode konstruksi yang sesuai dengan kondisi lahan pegunungan.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kondisi topografi dan karakteristik lingkungan merupakan faktor utama dalam menentukan kesesuaian suatu wilayah untuk pengembangan kawasan maupun pembangunan infrastruktur. Penelitian (Yang et al., 2022) menjelaskan bahwa karakteristik topografi menjadi indikator penting dalam menentukan tingkat kesesuaian pemanfaatan lahan karena berpengaruh terhadap kemudahan pembangunan dan efisiensi penggunaan ruang. Temuan tersebut diperkuat oleh (Alam et al., 2023) yang menyatakan bahwa evaluasi kesesuaian lahan perlu mempertimbangkan kondisi morfologi permukaan sebagai dasar dalam menentukan kelayakan pembangunan. Selanjutnya, (Sahin et al., 2024) mengemukakan bahwa kondisi topografi, karakteristik tanah, aksesibilitas, dan daya dukung lingkungan merupakan komponen utama yang memengaruhi keberhasilan pembangunan wilayah. Hasil penelitian (Kranjčić et al., 2025) juga menunjukkan bahwa kondisi relief dan stabilitas permukaan menjadi parameter penting dalam menentukan tingkat kesesuaian suatu kawasan untuk pengembangan permukiman dan infrastruktur.

Pada kawasan pegunungan, aspek geoteknik menjadi perhatian utama karena kondisi tanah umumnya berasal dari proses pelapukan batuan induk yang memiliki karakteristik fisik dan mekanik berbeda pada setiap lokasi. Selain itu, kemiringan lereng yang tinggi menyebabkan distribusi tegangan dalam tanah menjadi lebih kompleks dibandingkan wilayah datar. Curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan kadar air tanah sehingga menurunkan kuat geser tanah dan memperbesar potensi longsor. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembangunan konstruksi di daerah pegunungan memerlukan investigasi geoteknik yang lebih komprehensif dibandingkan wilayah dengan topografi yang lebih landai.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas pengaruh kondisi topografi terhadap pembangunan konstruksi, sebagian besar penelitian masih berfokus pada analisis kesesuaian lahan, stabilitas lereng, maupun aspek geologi secara terpisah. Kajian yang mengintegrasikan faktor material tanah, kondisi cuaca, dan muka air tanah sebagai satu kesatuan dalam mengevaluasi kekuatan konstruksi bangunan pada lahan pegunungan masih relatif terbatas. Padahal ketiga faktor tersebut saling berinteraksi dan memberikan pengaruh langsung terhadap daya dukung pondasi, stabilitas struktur, serta keberlanjutan bangunan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk meninjau faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi kekuatan konstruksi bangunan pada lahan pegunungan melalui pendekatan studi pustaka.

Fokus penelitian diarahkan pada tiga faktor utama, yaitu material tanah, kondisi cuaca, dan muka air tanah sebagai parameter lingkungan yang paling dominan memengaruhi keamanan konstruksi. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah bagi akademisi, praktisi teknik sipil, perencana wilayah, maupun pemerintah dalam merumuskan strategi pembangunan konstruksi yang lebih aman, adaptif, dan berkelanjutan pada kawasan pegunungan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi pustaka (*library research*) untuk mengkaji faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi kekuatan konstruksi bangunan pada lahan pegunungan. Pendekatan ini dipilih karena penelitian bertujuan melakukan sintesis terhadap berbagai hasil penelitian terdahulu sehingga diperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai hubungan antara karakteristik lingkungan dan kekuatan konstruksi bangunan.

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh melalui penelusuran literatur pada beberapa basis data ilmiah, yaitu Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, dan SpringerLink. Penelusuran dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci *mountainous area*, *environmental factors*, *soil material*, *groundwater*, *weather condition*, *geotechnical engineering*, *building construction*, serta padanan dalam bahasa Indonesia seperti *lahan pegunungan*, *faktor lingkungan*, *material tanah*, *muka air tanah*, *cuaca*, dan *konstruksi bangunan*.

Literatur yang digunakan dibatasi pada publikasi tahun 2020–2025 untuk memperoleh informasi yang mutakhir, dengan tetap menggunakan beberapa buku referensi dan standar teknis sebagai rujukan dasar dalam bidang geoteknik dan rekayasa konstruksi. Hasil penelusuran awal memperoleh 68 dokumen yang terdiri atas artikel jurnal, buku referensi, standar nasional maupun internasional, serta dokumen ilmiah lainnya. Selanjutnya dilakukan proses seleksi berdasarkan kesesuaian topik, kualitas publikasi, keterkaitan dengan tujuan penelitian, serta ketersediaan informasi yang relevan sehingga diperoleh 28 referensi yang digunakan dalam proses analisis.

Kriteria inklusi meliputi publikasi yang membahas karakteristik lingkungan pegunungan, material tanah, kondisi cuaca, muka air tanah, geoteknik, stabilitas lereng, serta pengaruhnya terhadap konstruksi bangunan. Sementara itu, publikasi yang tidak berkaitan secara langsung dengan topik penelitian, tidak memiliki informasi yang memadai, atau merupakan duplikasi dari sumber lain dikeluarkan dari proses analisis.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan mengacu pada model Miles dan Huberman yang meliputi reduksi data (*data reduction*), penyajian data (*data display*), dan penarikan kesimpulan (*conclusion drawing/verification*). Tahap reduksi dilakukan dengan mengelompokkan literatur berdasarkan tema utama, yaitu material tanah, kondisi cuaca, dan muka air tanah. Selanjutnya, data disajikan secara sistematis untuk memudahkan proses interpretasi, kemudian dilakukan sintesis terhadap temuan-temuan penelitian terdahulu guna mengidentifikasi faktor lingkungan yang paling dominan memengaruhi kekuatan konstruksi bangunan pada lahan pegunungan serta merumuskan rekomendasi teknis yang relevan.

Untuk memperjelas tahapan penelitian, proses studi literatur dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu identifikasi topik penelitian, penentuan kata kunci pencarian, penelusuran literatur pada basis data ilmiah, seleksi dokumen berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, ekstraksi data, analisis deskriptif, sintesis hasil penelitian, dan penyusunan kesimpulan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Lingkungan Pada Lahan Pegunungan

Lahan pegunungan memiliki karakteristik lingkungan yang berbeda secara signifikan dibandingkan lahan datar maupun perbukitan. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kondisi topografi, geologi, hidrologi, dan iklim yang saling berinteraksi sehingga membentuk karakteristik fisik lingkungan yang lebih kompleks. Kemiringan lereng yang curam, variasi elevasi yang tinggi, serta kondisi geomorfologi menyebabkan pembangunan konstruksi di wilayah pegunungan memerlukan perencanaan yang lebih cermat dibandingkan wilayah dengan topografi relatif landai. Penelitian (Yang et al., 2022) menjelaskan bahwa karakteristik topografi merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kesesuaian suatu wilayah untuk pembangunan karena berpengaruh terhadap stabilitas lahan, efisiensi pembangunan, dan keamanan konstruksi. Temuan tersebut juga didukung oleh (Li et al., 2022) yang menyatakan bahwa pengembangan kawasan pegunungan harus mempertimbangkan karakteristik fisik wilayah agar pembangunan dapat berlangsung secara aman dan berkelanjutan.

Karakteristik topografi pada lahan pegunungan tidak hanya memengaruhi kemudahan pembangunan, tetapi juga berpengaruh terhadap kualitas lingkungan dan kestabilan permukaan tanah. Penelitian (Xiang et al., 2023) menunjukkan bahwa variasi topografi berperan penting dalam mengendalikan kondisi ekologis serta karakteristik permukaan lahan melalui perubahan kemiringan lereng, orientasi lereng, dan elevasi. Sementara itu, penelitian (Talebi Khiavi dan Mostafazadeh., 2022) menjelaskan bahwa indeks topografi memiliki hubungan yang erat dengan sifat-sifat tanah, sehingga perubahan bentuk medan akan memengaruhi distribusi karakteristik fisik tanah pada suatu kawasan pegunungan.

Selain kondisi topografi, proses pembentukan tanah di wilayah pegunungan juga dipengaruhi oleh material batuan induk, kondisi iklim, dan proses pelapukan yang berlangsung dalam jangka waktu panjang. (Sisay et al., 2024) menjelaskan bahwa faktor pembentuk tanah pada daerah pegunungan sangat dipengaruhi oleh elevasi, batuan induk, serta kondisi iklim sehingga menghasilkan karakteristik tanah yang bervariasi pada setiap lokasi. Variasi tersebut menyebabkan daya dukung tanah, permeabilitas, serta stabilitas lereng berbeda-beda sehingga diperlukan investigasi geoteknik sebelum pembangunan konstruksi dilaksanakan.

Dari perspektif pengembangan wilayah, evaluasi karakteristik lingkungan merupakan tahapan penting dalam menentukan kelayakan pembangunan. (Alam et al., 2023) menyatakan bahwa analisis kesesuaian lahan perlu mempertimbangkan kondisi topografi, karakteristik tanah, dan faktor lingkungan lainnya agar pembangunan dapat dilakukan secara efektif dan berkelanjutan. Hasil penelitian tersebut diperkuat oleh (Kranjčić et al., 2025) yang menunjukkan bahwa analisis multi-kriteria terhadap kondisi relief, karakteristik permukaan, dan faktor lingkungan mampu menghasilkan penentuan lokasi pembangunan yang lebih aman serta mengurangi risiko kegagalan konstruksi.

Berdasarkan sintesis berbagai penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa karakteristik lingkungan pada lahan pegunungan merupakan hasil interaksi antara kondisi topografi, material tanah, geologi, hidrologi, dan iklim. Interaksi faktor-faktor tersebut secara langsung memengaruhi daya dukung tanah, stabilitas lereng, keamanan pondasi, serta keberhasilan pembangunan konstruksi. Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik lingkungan menjadi dasar penting dalam menentukan strategi perencanaan konstruksi yang sesuai dengan kondisi lahan pegunungan.

Peringkat faktor lingkungan pada **Tabel 1** ditentukan melalui matriks sintesis literatur dengan mengevaluasi setiap faktor berdasarkan tiga aspek utama, yaitu besarnya pengaruh terhadap kekuatan konstruksi, konsistensi temuan antar penelitian, dan hubungan langsung faktor tersebut terhadap stabilitas pondasi serta daya dukung tanah. Faktor yang memenuhi ketiga aspek secara dominan ditempatkan pada peringkat pertama, sedangkan faktor dengan pengaruh yang lebih terbatas ditempatkan pada peringkat berikutnya.

Tabel 1. Faktor Lingkungan yang Memengaruhi Kekuatan Konstruksi Bangunan pada Lahan Pegunungan

Peringkat	Faktor Lingkungan	Dasar Penentuan Peringkat	Pengaruh terhadap Konstruksi
1	Material tanah	Pengaruh langsung terhadap daya dukung tanah, stabilitas pondasi, dan penurunan tanah	Sangat Dominan
2	Cuaca	Memengaruhi sifat fisik tanah, erosi, serta pelaksanaan konstruksi	Dominan
3	Muka Air Tanah	Memengaruhi tekanan air pori, drainase, dan kestabilan lereng.	Pendukung

Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, material tanah memperoleh peringkat pertama karena secara konsisten dilaporkan sebagai faktor utama yang menentukan daya dukung tanah dan stabilitas pondasi. Kondisi cuaca berada pada peringkat kedua karena berpengaruh terhadap perubahan sifat fisik tanah serta proses pelaksanaan konstruksi. Sementara itu, muka air tanah menempati peringkat ketiga karena pengaruhnya lebih bersifat tidak langsung melalui perubahan tekanan air pori, kondisi drainase, dan kestabilan lereng.

3.2. Faktor Material Tanah terhadap Konstruksi Bangunan

Berdasarkan hasil sintesis berbagai literatur, material tanah merupakan faktor lingkungan yang paling dominan dalam menentukan kekuatan konstruksi bangunan pada lahan pegunungan. Kondisi tanah

di wilayah pegunungan umumnya terbentuk dari proses pelapukan batuan induk yang berlangsung dalam jangka waktu panjang, sehingga menghasilkan tanah residual dengan karakteristik fisik dan mekanik yang berbeda pada setiap lokasi. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh jenis batuan asal, kondisi iklim, topografi, dan proses geomorfologi yang berlangsung secara terus-menerus (Guo et al., 2023).

Material induk memiliki peranan penting dalam menentukan sifat geoteknik tanah karena komposisi mineral yang berbeda akan menghasilkan karakteristik daya dukung, plastisitas, permeabilitas, dan kuat geser yang berbeda pula. Penelitian menunjukkan bahwa tanah yang berasal dari batuan beku, batuan sedimen, maupun batuan metamorf memiliki perilaku mekanik yang tidak sama sehingga memerlukan pendekatan perencanaan pondasi yang berbeda sesuai kondisi lapangan (Ling et al., 2025).

Selain material induk, kondisi bentuk lahan dan iklim juga berpengaruh terhadap proses pembentukan tanah di kawasan pegunungan. Variasi elevasi, curah hujan, serta temperatur menyebabkan perkembangan horizon tanah berlangsung secara berbeda sehingga menghasilkan sifat fisik dan kimia tanah yang beragam (Chisambi & Shinjo, 2025). Kondisi tersebut menyebabkan setiap lokasi memiliki kapasitas dukung tanah yang berbeda sehingga investigasi geoteknik menjadi tahapan penting sebelum pelaksanaan pembangunan konstruksi.

Kualitas tanah pada kawasan pegunungan juga dipengaruhi oleh perubahan elevasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan elevasi berpengaruh terhadap kandungan bahan organik, tekstur tanah, kelembapan, dan karakteristik fisik lainnya yang secara tidak langsung memengaruhi kemampuan tanah dalam menopang beban konstruksi (Timilsina et al., 2025). Oleh karena itu, evaluasi kondisi tanah berdasarkan karakteristik lokasi perlu dilakukan agar jenis pondasi yang dipilih sesuai dengan daya dukung tanah yang tersedia.

Di sisi lain, kualitas tanah merupakan faktor yang menentukan keberlanjutan fungsi lahan sebagai media pendukung struktur bangunan. Tanah dengan struktur yang stabil dan karakteristik fisik yang baik akan memberikan daya dukung yang lebih tinggi dibandingkan tanah yang telah mengalami degradasi akibat proses pelapukan atau erosi (Smith et al., 2024). Oleh sebab itu, identifikasi karakteristik material tanah melalui investigasi geoteknik merupakan langkah awal yang sangat penting dalam menjamin keamanan dan keandalan konstruksi pada lahan pegunungan.

3.3. Faktor Cuaca Terhadap Kekuatan Konstruksi Bangunan

Kondisi cuaca merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh signifikan terhadap kekuatan konstruksi bangunan di wilayah pegunungan. Wilayah pegunungan umumnya memiliki karakteristik iklim berupa curah hujan yang tinggi, suhu udara yang relatif rendah, kelembapan tinggi, serta kecepatan angin yang lebih besar dibandingkan wilayah dataran. Kombinasi kondisi tersebut memengaruhi stabilitas tanah, proses pelaksanaan konstruksi, serta umur layanan bangunan (Gouraha et al., 2025).

Curah hujan merupakan faktor cuaca yang paling dominan memengaruhi kestabilan konstruksi di daerah pegunungan. Infiltrasi air hujan ke dalam tanah meningkatkan kadar air dan tekanan air pori sehingga dapat menurunkan kuat geser tanah, memperbesar potensi erosi, serta meningkatkan risiko terjadinya longsor pada lereng yang memiliki kemiringan tinggi. Oleh karena itu, sistem drainase permukaan dan bawah permukaan perlu dirancang secara memadai agar air hujan tidak menyebabkan penurunan stabilitas tanah di sekitar pondasi.

Selain curah hujan, perubahan temperatur juga memengaruhi perilaku material konstruksi. Perubahan suhu yang terjadi secara berulang dapat menyebabkan pemuaian dan penyusutan pada beton maupun baja sehingga berpotensi menurunkan kinerja struktur apabila tidak diperhitungkan dalam tahap perencanaan (Li et al., 2024). Pengaruh temperatur tersebut menjadi lebih nyata pada wilayah pegunungan yang memiliki fluktuasi suhu harian relatif tinggi dibandingkan wilayah dataran.

Perubahan iklim juga memberikan dampak terhadap kondisi lingkungan pembangunan melalui perubahan pola curah hujan, temperatur udara, dan intensitas kejadian cuaca ekstrem. Perubahan tersebut dapat memengaruhi kondisi tanah, kestabilan lereng, serta keberlangsungan proses konstruksi sehingga diperlukan strategi adaptasi dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan (Huang et al., 2025).

Di samping faktor iklim alami, perubahan penggunaan lahan akibat aktivitas manusia turut memengaruhi kondisi mikroklimat suatu wilayah. Alih fungsi lahan dapat mengubah pola aliran permukaan, meningkatkan potensi erosi, serta memperbesar kerentanan terhadap bencana hidrometeorologi yang berdampak pada keamanan konstruksi (Roy et al., 2022). Oleh karena itu, evaluasi kondisi cuaca dan perubahan lingkungan perlu dilakukan secara terpadu agar pembangunan konstruksi di wilayah pegunungan dapat berlangsung secara aman, efisien, dan berkelanjutan.

3.4. Faktor Muka Air Tanah terhadap Kekuatan Konstruksi Bangunan

Muka air tanah merupakan salah satu parameter geoteknik yang memiliki pengaruh penting terhadap kekuatan konstruksi bangunan pada lahan pegunungan. Kondisi muka air tanah sangat dipengaruhi oleh karakteristik geologi, jenis batuan, curah hujan, topografi, dan sistem aliran air bawah permukaan. Variasi faktor-faktor tersebut menyebabkan setiap lokasi memiliki kondisi hidrologi yang berbeda sehingga diperlukan investigasi lapangan untuk mengetahui kedalaman muka air tanah sebelum menentukan jenis pondasi yang akan digunakan (Abhervé et al., 2025).

Keberadaan muka air tanah yang relatif dangkal dapat meningkatkan tekanan air pori (*pore water pressure*) di dalam tanah sehingga menurunkan kuat geser dan daya dukung tanah. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan penurunan stabilitas lereng, deformasi tanah, serta meningkatkan risiko kelongsoran, terutama pada musim hujan ketika infiltrasi air ke dalam tanah berlangsung lebih intensif (Ding et al., 2025). Oleh karena itu, evaluasi kondisi muka air tanah menjadi salah satu tahapan penting dalam perencanaan konstruksi pada wilayah pegunungan.

Selain memengaruhi stabilitas pondasi, muka air tanah juga berperan dalam menentukan potensi ketersediaan air bawah permukaan pada suatu kawasan. Penelitian menunjukkan bahwa karakteristik geologi, struktur batuan, kemiringan lereng, serta kondisi penutup lahan merupakan faktor utama yang mengendalikan potensi air tanah di wilayah pegunungan. Informasi tersebut sangat penting dalam mendukung perencanaan sistem drainase dan pengendalian rembesan air di sekitar bangunan (Kasahun et al., 2025).

Perkembangan teknologi geospasial dan pemodelan hidrologi juga memberikan kontribusi dalam analisis kondisi muka air tanah. Integrasi penginderaan jauh (*remote sensing*), Sistem Informasi Geografis (SIG), dan analisis geostatistik mampu meningkatkan ketelitian dalam mengidentifikasi zona dengan potensi air tanah tinggi maupun daerah yang rentan mengalami perubahan muka air tanah (Mostafa et al., 2025). Pendekatan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam penyusunan desain pondasi dan sistem drainase yang lebih adaptif terhadap karakteristik lokasi.

Selain itu, perubahan iklim dan perubahan tata guna lahan dapat memengaruhi dinamika muka air tanah dari waktu ke waktu. Penelitian pada daerah pegunungan menunjukkan bahwa perubahan pola curah hujan dan penggunaan lahan dapat menyebabkan fluktuasi muka air tanah yang berdampak terhadap keseimbangan hidrologi dan kestabilan tanah (Rajput et al., 2025). Perubahan tersebut perlu dipertimbangkan dalam perencanaan konstruksi agar bangunan tetap memiliki tingkat keamanan yang memadai selama umur layanannya.

Perubahan tutupan lahan juga terbukti memengaruhi dinamika muka air tanah melalui perubahan proses infiltrasi, limpasan permukaan, dan pengisian kembali (*groundwater recharge*). Berkurangnya daerah resapan air dapat menyebabkan perubahan keseimbangan air bawah permukaan yang pada akhirnya memengaruhi kondisi geoteknik di sekitar pondasi bangunan (Wang et al., 2023). Oleh karena itu, pengelolaan daerah tangkapan air dan sistem drainase yang baik menjadi bagian penting dalam upaya menjaga stabilitas konstruksi pada kawasan pegunungan.

Berdasarkan hasil sintesis berbagai penelitian, muka air tanah merupakan faktor lingkungan yang berinteraksi secara langsung dengan material tanah dan kondisi cuaca dalam menentukan kekuatan konstruksi bangunan. Variasi kedalaman muka air tanah, tekanan air pori, serta perubahan kondisi hidrologi dapat memengaruhi stabilitas pondasi, keamanan lereng, dan umur layanan bangunan. Oleh sebab itu, investigasi geoteknik yang mencakup analisis hidrologi, pengukuran muka air tanah, dan evaluasi sistem drainase perlu dilakukan secara terpadu agar perencanaan konstruksi dapat disesuaikan dengan karakteristik lingkungan pada lahan pegunungan.

3.5. Sintesis Faktor Lingkungan terhadap Kekuatan Konstruksi Bangunan

Hasil kajian menunjukkan bahwa kekuatan konstruksi bangunan pada lahan pegunungan dipengaruhi oleh interaksi antara faktor material tanah, kondisi cuaca, dan muka air tanah. Ketiga faktor tersebut saling berkaitan dalam menentukan daya dukung tanah, stabilitas lereng, keamanan pondasi, serta ketahanan struktur terhadap pengaruh lingkungan. Material tanah menentukan kemampuan tanah dalam menahan beban bangunan, sedangkan kondisi cuaca dan muka air tanah memengaruhi perubahan sifat fisik maupun mekanik tanah selama umur layanan konstruksi.

Berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap kekuatan konstruksi, material tanah merupakan faktor yang paling dominan karena secara langsung menentukan kapasitas dukung pondasi. Faktor berikutnya adalah kondisi cuaca, terutama curah hujan yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng dan proses pelaksanaan konstruksi. Adapun muka air tanah menjadi faktor pendukung yang memengaruhi tekanan air pori, kondisi drainase, dan kestabilan tanah di sekitar pondasi.

Tabel 2. Peringkat Faktor Lingkungan terhadap Kekuatan Konstruksi Bangunan pada Lahan Pegunungan

Peringkat	Faktor Lingkungan	Dasar Penentuan Peringkat	Karakteristik	Pengaruh Terhadap Konstruksi
1	Material tanah	Paling banyak dilaporkan memengaruhi daya dukung tanah dan stabilitas pondasi	Tanah residual, batuan lapuk, dan batuan induk	Menentukan daya dukung tanah, stabilitas pondasi, dan penurunan tanah
2	Cuaca	Berpengaruh terhadap kondisi tanah dan proses pelaksanaan konstruksi	Curah hujan tinggi, suhu rendah, dan angin	Memengaruhi proses konstruksi, erosi, dan ketahanan material bangunan
3	Muka Air Tanah	Berpengaruh melalui perubahan tekanan air pori dan kondisi hidrologi	Bervariasi sesuai kondisi geologi	Memengaruhi tekanan air pori, kestabilan lereng, dan kinerja pondasi

Penentuan peringkat faktor lingkungan tidak dilakukan menggunakan metode pembobotan kuantitatif, melainkan berdasarkan sintesis kualitatif terhadap literatur yang dikaji. Material tanah ditempatkan pada peringkat pertama karena hampir seluruh penelitian yang dianalisis menyatakan bahwa karakteristik tanah secara langsung menentukan daya dukung tanah, stabilitas pondasi, dan keamanan struktur. Kondisi cuaca berada pada peringkat kedua karena berpengaruh terhadap perubahan sifat fisik tanah, proses konstruksi, serta ketahanan material bangunan. Muka air tanah menempati peringkat ketiga karena pengaruhnya bersifat tidak langsung, yaitu melalui perubahan tekanan air pori, kondisi drainase, dan kestabilan lereng. Dengan demikian, peringkat yang disusun merupakan hasil sintesis tingkat dominasi pengaruh faktor lingkungan berdasarkan konsistensi temuan dalam literatur, bukan hasil perhitungan statistik atau metode pembobotan tertentu.

4. Kesimpulan

Studi ini menunjukkan bahwa kekuatan konstruksi bangunan pada lahan pegunungan dipengaruhi oleh interaksi berbagai faktor lingkungan, dengan material tanah sebagai faktor yang paling dominan, diikuti oleh kondisi cuaca dan muka air tanah. Ketiga faktor tersebut berpengaruh terhadap daya dukung tanah, stabilitas pondasi, kestabilan lereng, serta keamanan struktur bangunan sehingga perlu menjadi pertimbangan utama dalam proses perencanaan konstruksi.

Hasil kajian menegaskan bahwa pembangunan konstruksi di wilayah pegunungan memerlukan investigasi geoteknik yang komprehensif, analisis stabilitas lereng, evaluasi kondisi hidrologi, dan perencanaan sistem drainase yang sesuai dengan karakteristik lokasi. Penerapan langkah-langkah tersebut diharapkan dapat meningkatkan keamanan, ketahanan, dan keberlanjutan konstruksi serta meminimalkan risiko kegagalan struktur pada lahan pegunungan.

Kajian ini masih terbatas pada pendekatan studi pustaka sehingga penelitian selanjutnya disarankan mengombinasikan kajian literatur dengan investigasi lapangan, pengujian geoteknik, atau analisis numerik agar diperoleh hasil yang lebih representatif terhadap kondisi aktual di lokasi pembangunan.

5. Referensi

- [1] Z. Yang, D. Yang, J. Geng, and F. Tian, "Evaluation of Suitability and Spatial Distribution of Rural Settlements in the Karst Mountainous Area of China," *Land*, vol. 11, no. 11, p. 2101, 2022.
- [2] Z. Li, X. Miao, M. Wang, S. Jiang, and Y. Wang, "The Classification and Regulation of Mountain Villages in the Context of Rural Revitalization—The Example of Zhaotong, Yunnan Province," *Sustainability*, vol. 14, no. 18, p. 11381, 2022.
- [3] N. Alam, S. Saha, S. Gupta, and A. Chatterjee, "Settlement Suitability Analysis of a Riverine Floodplain in the Perspective of GIS-Based Multicriteria Decision Analysis," *Environmental Science and Pollution Research*, 2023.
- [4] E. Sahin, M. C. Iban, and S. S. Bilgilioglu, "Remote Sensing-Enabled Urban Growth Simulation Overlaid with AHP-GIS-Based Urban Land Suitability for Potential Development," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 8, p. 3484, 2024.

- [5] N. Kranjčić, D. Šiško, B. Đurin, and V. Cetl, "A Determination of Suitable Zones for Settlements Based on Multi-Criteria Analysis: A Case Study of Goranci (Bosnia and Herzegovina)," *Sustainability*, vol. 17, no. 23, p. 10508, 2025.
- [6] Q. Xiang, A. Kan, X. Yu, F. Liu, H. Huang, W. Li, and R. Gao, "Assessment of Topographic Effect on Habitat Quality in Mountainous Area Using InVEST Model," *Land*, vol. 12, no. 1, p. 186, 2023.
- [7] H. Talebi Khiavi and R. Mostafazadeh, "The Spatiotemporal Dependencies of Terrain Indices with Soil Characteristics in a Steep Hillslope Mountainous Area," *Arabian Journal of Geosciences*, 2022.
- [8] M. G. Sisay, E. A. Tsegaye, A. R. Tolossa, J. Nyssen, and A. Frankl, "Soil-Forming Factors of High-Elevation Mountains along the East African Rift Valley: The Case of Mount Guna Volcano, Ethiopia," *Soil Systems*, vol. 8, no. 2, p. 38, 2024.
- [9] X. Guo *et al.*, "Geochemistry Process from Weathering Rocks to Soils: Perspective of an Ecological Geology Survey in China," *Sustainability*, vol. 15, no. 2, p. 1002, 2023.
- [10] Z. Ling *et al.*, "Parent Material Provenance of Regosols and Their Physicochemical Characteristics in the High-Altitude Environment of the Tibetan Plateau," *Catena*, 2025.
- [11] C. M. Chisambi and H. Shinjo, "Influence of Parent Materials, Landforms and Climate on the Soil Properties Distribution in Northern and Central Malawi," *Geoderma Regional*, 2025.
- [12] B. Timilsina, M. Kharel, R. Shrestha, and A. M. Saqr, "Assessment of Soil Quality Along the Elevation Gradient of the Seti River Watershed in Pokhara Metropolitan City, Nepal," *Environmental Monitoring and Assessment*, 2025.
- [13] P. Smith *et al.*, "Status of the World's Soils," *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 49, 2024.
- [14] S. Gouraha, D. S. Arya, and P. Srivastava, "How Urbanization and Terrain Characteristics Shape Precipitation and Temperature Patterns in Complex Geographies: A Case Study of the Doon Valley," *Theoretical and Applied Climatology*, 2025.
- [15] R. Li, Q. Li, I. Mikiko, and K. Wumaier, "Numerical Study on the Summer High-Temperature Climate Adaptation of Traditional Dwellings in the Western Plains of Sichuan, China," *Land*, vol. 13, no. 9, p. 1382, 2024.
- [16] L. Huang, H. Wu, M. Shi, J. Tian, K. Zheng, and T. Dong, "Characteristics of Changes in Land Use Intensity in Xinjiang Under Different Future Climate Change Scenarios," *Sustainability*, vol. 17, no. 10, p. 4322, 2025.
- [17] P. S. Roy, R. M. Ramachandran, O. Paul, and P. K. Thakur, "Anthropogenic Land Use and Land Cover Changes: A Review on Its Environmental Consequences and Climate Change," *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2022.
- [18] Y. Ding, H. Lü, L. Xu, R. Horton, M. Jiang, and Y. Zhu, "Estimating the Groundwater Table Threshold for Mitigating Soil Salinization in the Songnen Plain of China," *Journal of Hydrology and Regional Studies*, 2025.
- [19] K. Kasahun *et al.*, "Data-Driven Insights into Factors Controlling Groundwater Potential Using Explainable and Ensemble Machine Learning Models," *Earth Systems and Environment*, 2025.
- [20] A. E. Mostafa, M. A. M. Ali, F. A. Ali, R. Rabeiy, and H. A. Saleem, "Groundwater Potential Mapping in Semi-Arid Areas Using Integrated Remote Sensing, GIS, and Geostatistical Techniques," *Water*, vol. 17, no. 13, p. 1909, 2025.
- [21] U. Rajput, D. P. Shukla, and D. Swami, "Forecasting Groundwater Resources for Future Sustainability: A Geospatial Approach in the Himalayan Beas Basin," *Environmental Earth Sciences*, 2025.
- [22] W. Wang, Y. Chen, and Y. Hou, "Groundwater Level Dynamic Impacted by Land-Cover Change in the Desert Regions of Tarim Basin, Central Asia," *Water*, vol. 15, no. 20, p. 3601, 2023.
- [23] J. E. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, 5th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1996.
- [24] B. M. Das, *Principles of Foundation Engineering*, 4th ed. Boston, MA, USA: PWS Publishing Company, 1991.
- [25] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726:2012 tentang *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Jakarta, Indonesia, 2012.
- [26] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1727:2013 tentang *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Jakarta, Indonesia, 2013.
- [27] Badan Standardisasi Nasional, SNI 2847:2013 tentang *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Jakarta, Indonesia, 2013.