

Digital Based Estimation of Residential Property Losses from Liquefaction in West Jakarta

Estimasi Digital Kerugian Rumah Tinggal Akibat Likuifaksi di Jakarta Barat

Indah Maryati^{1*}, Muhammad Zaki², Darmawan Pontan³, Tulus Widiarso⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti, Indonesia

¹151012210005@std.trisakti.ac.id, ²m.zaki@trisakti.ac.id, ³darmawan@trisakti.ac.id, ⁴tulus@trisakti.ac.id

*Penulis Korespondensi

Artikel Info

Riwayat Artikel:

Penyerahan Juni 18, 2025

Revisi Oktober 28, 2025

Diterima Oktober 31, 2025

Diterbitkan Oktober 31, 2025

Keywords:

Liquefaction

Magnitude

Loss

N-SPT

Seismic

Kata Kunci:

Likuifaksi

Magnitudo

Kerugian

N-SPT

Seismik



ABSTRACT

Liquefaction poses a significant threat to urban areas with water-saturated alluvial soils, especially in seismically active zones like West Jakarta. **Using Cone Penetration Test (CPT)** data from 25 locations, soil susceptibility was evaluated through Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), and Magnitude Scaling Factor (MSF). **Areas with safety factor (FS)** values below 1 were identified as having high liquefaction potential. Residential buildings were categorized by floor area and assessed using the 2024 Government Property Sales Value (NJOP) to estimate potential financial loss. Structural damage percentages were determined using seismic intensity thresholds and empirical damage functions. **Analysis showed** that residential areas with moderate to loose soil conditions, particularly in the northern and western zones, are most vulnerable. The total estimated loss reached IDR 189.8 billion, with the highest concentration of damage in medium and large sized residential properties. **These findings** emphasize the critical need to integrate geotechnical parameters into spatial risk mapping and urban disaster mitigation planning. A digital loss estimation model combining soil characteristics, seismic parameters, and economic valuation provides a scalable approach for early warning systems and resilience-oriented urban planning. The study contributes to data-driven risk management strategies aligned with sustainable development objectives and adaptive infrastructure policies.

This is an open access article under the [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



ABSTRAK

Likuifaksi merupakan ancaman signifikan bagi kawasan urban dengan tanah aluvial jenuh air, khususnya di zona aktif seismik seperti Jakarta Barat. **Berdasarkan data Cone Penetration Test (CPT)** di 25 lokasi, tingkat kerentanan tanah dievaluasi melalui analisis Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), dan Magnitude Scaling Factor (MSF). **Lokasi dengan nilai** faktor keamanan (FS) di < 1 diidentifikasi sebagai zona berpotensi tinggi mengalami likuifaksi. Bangunan rumah tinggal diklasifikasikan berdasarkan luas lantai dan dinilai menggunakan Nilai Jual Objek Pajak (NJOP) tahun 2024 untuk memperkirakan potensi kerugian finansial. Persentase kerusakan struktural ditentukan berdasarkan ambang intensitas seismik dan fungsi kerusakan empiris. **Hasil analisis menunjukkan** bahwa wilayah dengan kondisi tanah sedang hingga lunak, khususnya di bagian utara dan barat Jakarta Barat, memiliki tingkat kerentanan tertinggi. Estimasi total kerugian mencapai Rp189,8 miliar, dengan konsentrasi kerusakan terbesar pada rumah tipe sedang.

dan besar. **Temuan ini menekankan** pentingnya integrasi parameter geoteknik dalam pemetaan risiko spasial dan perencanaan mitigasi bencana perkotaan. Model estimasi kerugian digital berbasis karakteristik tanah, parameter seismik, dan nilai ekonomi memberikan pendekatan yang skalabel untuk sistem peringatan dini dan perencanaan infrastruktur yang adaptif. Kajian ini berkontribusi pada strategi manajemen risiko berbasis data yang selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan.

This is an open access article under the [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



DOI: <https://doi.org/10.33050/tmj.v10i2.2500>

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah CC-BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

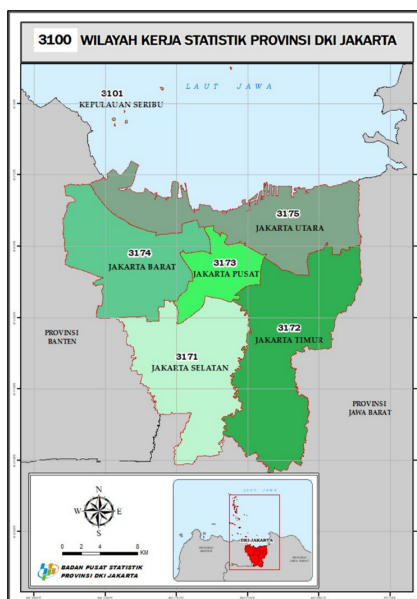
©Penulis memegang semua hak cipta

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki lebih dari 17.000 pulau, dengan jumlah penduduk mencapai sekitar 280 juta jiwa [1]. Indonesia memiliki 38 provinsi, dengan Ibu Kota yang kini berada di Nusantara. Sebelumnya, status Ibu Kota berada di Provinsi DKI Jakarta [2]. DKI Jakarta merupakan provinsi yang paling lama berstatus sebagai Ibu Kota Negara Indonesia. Hal ini menjadikan Jakarta sebagai salah satu provinsi dengan jumlah penduduk terbanyak, karena wilayah ini telah berkembang sebagai pusat pemerintahan dan ekonomi serta memiliki tingkat integrasi yang tinggi dibandingkan dengan provinsi lainnya [3].

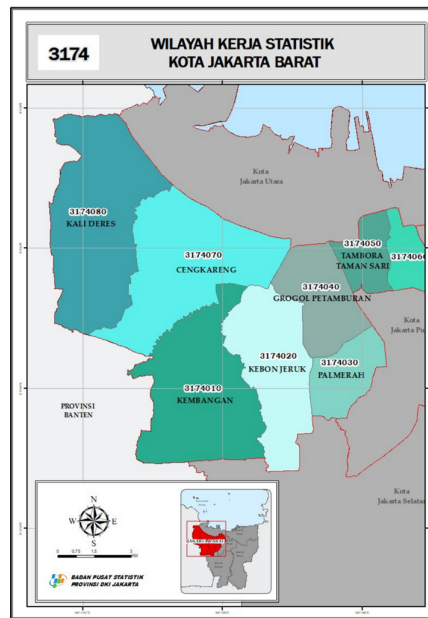
Menurut [4], Provinsi DKI Jakarta memiliki enam wilayah administratif, yaitu Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu yang terdiri atas 2 kecamatan; Kota Administrasi Jakarta Barat dan Jakarta Pusat masing-masing dengan 8 kecamatan; Jakarta Selatan dan Jakarta Timur masing-masing memiliki 10 kecamatan; serta Jakarta Utara yang terdiri atas 6 kecamatan. Secara keseluruhan, terdapat 44 kecamatan di wilayah DKI Jakarta [5, 6]. Selain itu, DKI Jakarta juga mencakup sejumlah kelurahan, yakni Kepulauan Seribu dengan 6 kelurahan, Jakarta Selatan dan Jakarta Timur masing-masing 65 kelurahan, Jakarta Pusat 44 kelurahan, Jakarta Barat 56 kelurahan, dan Jakarta Utara 31 kelurahan [7, 8].

Dalam penelitian ini, area yang dijadikan studi kasus adalah Kota Administrasi Jakarta Barat, yang meliputi beberapa kecamatan, yaitu Kembangan, Kebon Jeruk, Palmerah, Grogol, Tambora, Taman Sari, Cengkareng, dan Kalideres [9].



Gambar 1. Peta Wilayah Provinsi DKI Jakarta

Gambar 1 menunjukkan pembagian wilayah kerja statistik di Provinsi DKI Jakarta berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik [10]. Peta ini menggambarkan enam wilayah administratif, yaitu Jakarta Barat (3174), Jakarta Pusat (3173), Jakarta Selatan (3171), Jakarta Timur (3172), Jakarta Utara (3175), dan Kepulauan Seribu (3101), yang masing-masing dibedakan dengan warna dan kode wilayah statistik [11]. Peta ini juga memperlihatkan batas geografis DKI Jakarta yang berbatasan dengan Provinsi Banten di sebelah barat dan Provinsi Jawa Barat di sebelah timur dan selatan [12]. Keberadaan inset peta nasional di bagian bawah membantu memperjelas posisi geografis DKI Jakarta dalam konteks wilayah Indonesia [13, 14].



Gambar 2. Peta Wilayah Kota Administrasi Jakarta Barat

Gambar 2 menunjukkan peta wilayah kerja statistik Kota Jakarta Barat berdasarkan pembagian administratif oleh Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta [15, 16]. Peta ini menampilkan delapan kecamatan yang berada di bawah wilayah Jakarta Barat, yaitu Cengkareng (3174070), Kalideres (3174080), Kembangan (3174010), Kebon Jeruk (3174020), Palmerah (3174030), Grogol Petamburan (3174040), Taman Sari (3174050), dan Tambora (3174060) [17, 18]. Setiap kecamatan ditandai dengan warna berbeda dan diberi kode wilayah statistik yang unik [19]. Peta ini juga dilengkapi dengan arah mata angin dan skala jarak, serta inset peta yang menunjukkan lokasi Jakarta Barat dalam konteks wilayah DKI Jakarta secara keseluruhan [20].

Penelitian ini sejalan dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDGs 11: (Kota dan Permukiman yang Berkelanjutan), yang menekankan pentingnya membangun kota yang tangguh terhadap bencana [21, 22]. Analisis potensi kerugian rumah tinggal akibat gempa likuifaksi di Jakarta Barat mendukung upaya mitigasi risiko dan perencanaan tata ruang yang lebih adaptif [23, 24]. Kajian ini juga memperkuat keterkaitan antara landasan teori, temuan penelitian terdahulu, dan hasil analisis empiris untuk menghasilkan rekomendasi kebijakan mitigasi yang terukur. Hasil penelitian ini juga berkontribusi pada SDGs 13 (Penanganan Perubahan Iklim), melalui peningkatan kesiapsiagaan terhadap dampak geologi di wilayah perkotaan padat penduduk [25].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Regional Provinsi DKI Jakarta

[4] Provinsi DKI Jakarta secara astronomis berada pada posisi 6°12' Lintang Selatan dan 106°48' Bujur Timur, dengan ketinggian rata-rata sekitar +7 meter di atas permukaan laut. Berdasarkan SK Menteri Dalam Negeri Nomor 100.1.1-6117 Tahun 2022, Jakarta memiliki luas wilayah 660,982 km². Administrasinya mencakup 6 kabupaten/kota, 44 kecamatan, dan 267 kelurahan, serta meliputi 114 pulau termasuk kawasan Kepulauan Seribu [26]. Secara geografis, Jakarta berbatasan dengan Laut Jawa di bagian utara sepanjang

kurang lebih 35 km yang menjadi muara bagi sembilan sungai dan dua kanal. Di sisi selatan dan timur, Jakarta berbatasan dengan Provinsi Jawa Barat, sedangkan di sisi barat berbatasan dengan Provinsi Banten.

1. Kondisi Regional Kota Administrasi Jakarta Barat

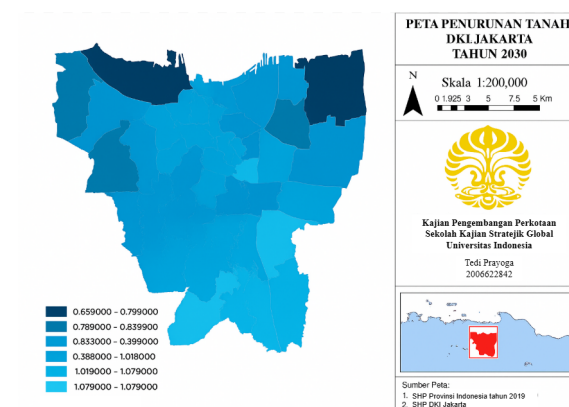
Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam, geologi Jakarta Barat didominasi endapan aluvium fluvial dan pesisir aluvium pantai di utara dan material vulkanik di selatan [27, 28]. Tanah aluvium pantai yang belum terkompaksi bersifat lunak dan mudah mengalami penurunan tanah akibat ekstraksi air tanah dan beban infrastruktur, terutama di Rawa Buaya, Kapuk, dan Kamal [29, 30]. Keberadaan garis pantai purba dari Jl. Daan Mogot hingga Monas turut meningkatkan risiko kerusakan dan banjir.

Menurut catatan BMKG, beberapa gempa besar pernah memengaruhi Jakarta, termasuk gempa 1699 di Gunung Salak, gempa 1834 (M 7,0), dan gempa Tasikmalaya 2009 (M 7,3) [31]. Meski tidak berada pada zona patahan aktif, Jakarta tetap memiliki risiko seismik. Kondisi tanah aluvial dan pasir pantai di Jakarta Barat meningkatkan potensi likuifaksi, didukung hasil uji Cone Penetration Test (CPT) pada Peta Bahaya Gempa Indonesia 2017 [32].

Menurut [2], likuifaksi umumnya terjadi pada tanah berpasir gembur yang kehilangan kekuatan geser saat menerima beban seismik [33, 34]. Aceh termasuk wilayah berisiko karena sebagian besar tanahnya berupa pasir lanau dan lempung lanau hingga kedalaman >20 m [35]. Potensi likuifaksi dihitung melalui perbandingan nilai CRR dan CSR, yang menunjukkan beberapa titik pengujian berpotensi likuifaksi terutama pada gempa bermagnitudo besar [36], dengan sebaran wilayah yang telah dipetakan [37].

2. Populasi Bangunan di Jakarta Barat

Jakarta Barat sebagai kawasan urban padat memiliki banyak bangunan bertingkat dengan struktur beton bertulang atau baja, sedangkan rumah di area perumahan umumnya menggunakan beton ber dinding bata ringan. Di kawasan industri, struktur baja dan beton pracetak dipilih untuk efisiensi konstruksi. Tanah aluvial dan lempung yang lunak membuat wilayah ini memerlukan pondasi dalam seperti tiang pancang, dengan penurunan muka air tanah tertinggi di Kecamatan Kalideres mencapai sekitar -0,715 m [10].



Gambar 3. Potensi Penurunan Tanah DKI Jakarta 2030

Karena Jakarta rawan gempa dan banjir, bangunan di Jakarta Barat umumnya dirancang tahan gempa dengan sistem peredam getaran serta elemen fleksibel, dan menggunakan material efisien seperti kaca *low-e*, panel komposit, dan gypsum ringan. Beberapa bangunan juga memadukan arsitektur Betawi dengan desain modern. Untuk mengantisipasi banjir, banyak bangunan dilengkapi sistem drainase, kolam retensi, serta tangki penampungan air hujan, dan dibangun lebih tinggi dari permukaan tanah sekitar dengan basement yang dilindungi pompa air.

3. Bangunan Rumah Tinggal di Jakarta Barat

Rumah merupakan kebutuhan pokok manusia sebagai tempat berlindung dan beristirahat dengan desain yang menyesuaikan kebutuhan serta kemampuan penghuninya. Berdasarkan [38], klasifikasi rumah meliputi aspek kependudukan, kondisi bangunan (luas lantai, material, sanitasi), sarana prasarana (air, listrik, bahan bakar), dan pengeluaran perumahan seperti biaya tempat tinggal dan pemeliharaan.

4. Nilai Bangunan Rumah Tinggal di Jakarta Barat

Nilai jual rumah tinggal di Jakarta ditetapkan melalui NJOP dan DBKB sesuai Keputusan Gubernur DKI Jakarta Nomor 124 Tahun 2024 [39]. Estimasi kerugian didasarkan pada hasil pendataan objek PBB-P2, mencakup nilai tanah dan bangunan berdasarkan luas lantai, fasilitas sekitar, serta material bangunan. Nilai ini menjadi dasar perhitungan potensi kerugian akibat gempa likuifaksi di Jakarta Barat.

5. Jumlah Rumah Tinggal di Jakarta Barat

Total penduduk DKI Jakarta tahun 2024 mencapai 11,34 juta jiwa, dengan distribusi terbesar di Jakarta Timur (29,2%) dan Jakarta Barat (23%) [38]. Rumah di Jakarta Barat diklasifikasikan berdasarkan luas lantai ($<19 \text{ m}^2$ hingga $>150 \text{ m}^2$) serta data pelanggan listrik PLN yang mencerminkan kebutuhan dasar dan tingkat kesejahteraan penduduk.

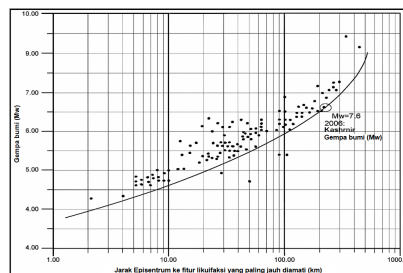
2.2. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran pada permukaan bumi akibat pelepasan energi tiba-tiba di dalam kerak bumi yang menghasilkan gelombang seismik [40]. Peristiwa ini terjadi karena pergeseran lempeng tektonik di batas konvergen, divergen, atau transform. Energi yang dilepaskan menghasilkan gelombang P, S, dan gelombang permukaan yang paling merusak [41, 42]. Titik awal gempa disebut hiposenter, sedangkan episentrum adalah titik guncangan terkuat di permukaan. Gempa utama sering diikuti gempa susulan, sehingga pemahaman proses ini penting untuk mitigasi di wilayah rawan seperti Indonesia [43].

1. Gempa Likuifaksi terjadi ketika tanah berpasir jenuh air kehilangan kekuatan dan kekakuan akibat peningkatan tekanan air pori selama getaran gempa [2]. Kondisi ini dipicu oleh gempa kuat berdurasi lama, percepatan tanah tinggi, dan muka air tanah dangkal. Aktivitas manusia seperti penggalian dan konstruksi berat juga memperburuk potensi likuifaksi, yang menyebabkan tanah berperilaku seperti cairan dan merusak fondasi bangunan.
2. Faktor yang mempengaruhi likuifaksi meliputi kondisi tanah berpasir lepas (*loose sand*) yang jenuh air, tidak terkonsolidasi, serta bergetaran kuat saat gempa [44]. Potensi meningkat pada gempa bermagnitudo $>5,0$ dengan percepatan $\geq 0,1g$ dan durasi lama. Tanah berisiko memiliki $D_{50} \leq 0,25 \text{ mm}$, butiran halus $<20\%$, $C_u < 10$, $D_R < 75\%$, dan $I_P < 13\%$. Contoh nyata terjadi di Palu (2018) akibat gempa 7,5 SR pada kedalaman 11 km yang memicu semburan lumpur dan perpindahan material besar [45], dengan kerugian mencapai 57% dari total dampak gempa [3].
3. Analisis Potensi Likuifaksi

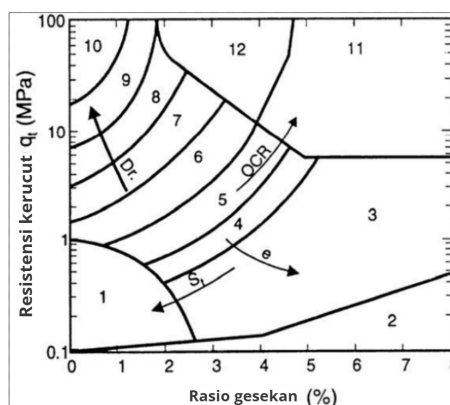
Likuifaksi hanya dapat terjadi pada beberapa kondisi tanah, dikarenakan pada likuifaksi terdapat karakteristik tanah tertentu yang memiliki potensi likuifaksi. Untuk menganalisis kriteria yang dimaksud dijelaskan sebagai berikut, [44] :

- Kriteria Historis (*Historical Criteria*), analisis ini menggunakan pengumpulan data gempa dangkal sebagai acuan dasar perkiraan potensi likuifaksi di suatu daerah dengan grafik serta menghubungkan jarak episenter dan magnitudo gempa.



Gambar 4. Hubungan antara Jarak Episentral dengan Magnitude Gempa

- Kriteria Geologi (*Geological Criteria*) menilai potensi likuifaksi berdasarkan kondisi tanah, di mana tanah alluvial, koluvial, dan aeolian jenuh air paling rentan. Endapan ini memiliki butiran seragam akibat proses geologi dan muka air tanah yang rendah, sedangkan tanah tidak jenuh memiliki potensi likuifaksi lebih kecil.
- Kriteria Komposisi (*Compositional Criteria*) menilai ukuran dan gradasi partikel tanah, di mana tanah berbutir halus memiliki potensi likuifaksi rendah karena kurang permeabel. [44] menyebutkan tanah berpotensi likuifaksi memenuhi empat *Chinese Criteria*: $S_r 95-100\%$, $LL \leq 35\%$, $Natural\ Water\ Content \geq 0,9\ LL$, dan $PL > 1\%$. Pasir dengan plastisitas rendah dan permeabilitas tinggi lebih mudah mengalami pelepasan tekanan air pori saat gempa.
- Kriteria State menganalisis potensi likuifaksi dengan membandingkan CRR hasil uji CPT atau SPT terhadap CSR; jika $CRR > CSR$ maka tanah aman dari likuifaksi. Evaluasi dilakukan melalui perhitungan FS berdasarkan PGA dan rumus empiris peta hazard gempa Indonesia 2017, dengan klasifikasi $fs < 1$ (terjadi), $fs = 1$ (kritis), dan $fs > 1$ (tidak terjadi).



Gambar 5. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai q_c dan Friction Ratio

Gambar 5 menunjukkan klasifikasi tanah hasil *Cone Penetration Test* (CPT) berdasarkan hubungan antara *cone resistance* (q_c) dan *friction ratio* (Fr). Nilai q_c rendah (< 2 MPa) dan Fr tinggi ($> 4\%$) menunjukkan tanah lempung, sedangkan q_c tinggi (> 10 MPa) dan Fr rendah ($< 2\%$) menunjukkan pasir padat. Tanah berpasir lepas dengan Fr 1–2% dan q_c 2–8 MPa paling berpotensi mengalami likuifaksi.

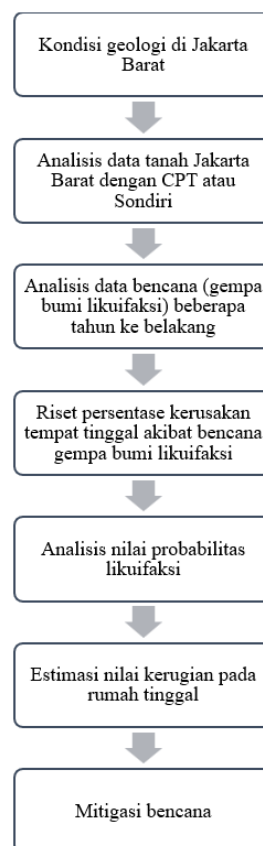
Tabel 1. Klasifikasi Tanah dari data Sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
q_c	fs	
6,0	0,15 – 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0 – 10,0	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20 – 0,60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10,0 – 30,0	0,10	Kerikil lepas
	0,10 – 0,40	Pasir lepas
	0,40 – 0,80	Lempung atau lempung kelanauan
	0,80 – 2,00	Lempung agak kenyal
30 – 60	1,50	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0 – 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60 – 150	1,0	Kerikil kepasiran lepas
	1,0 – 3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kekerikilan kenyal
150 – 300	1,0 – 2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar pasir, pasir kelanauan sangat padat

Tabel 1 menunjukkan klasifikasi tanah berdasarkan hasil sondir (q_c) dan friksi (f_s). Nilai $q_c < 6,0$ dengan $f_s = 0,15-0,40$ menunjukkan tanah sangat lunak (humus/lempung), $6,0 \leq q_c \leq 10,0$ menunjukkan pasir/lempung lepas yang berpotensi likuifaksi, $10,0 \leq q_c \leq 60,0$ mengindikasikan pasir hingga lempung kenyal dengan kekuatan sedang, sedangkan $q_c > 60,0$ menunjukkan tanah padat hingga sangat padat dengan kestabilan tinggi.

2.3. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir penelitian ini berfokus pada identifikasi potensi kerugian rumah tinggal di Jakarta Barat akibat gempa likuifaksi melalui klasifikasi luasan rumah, analisis data gempa historis, NJOP, serta hasil uji CPT di 25 lokasi. Data tersebut digunakan untuk menghitung probabilitas likuifaksi dan estimasi kerugian berdasarkan NJOP sebagai dasar mitigasi bencana. Berdasarkan uraian di atas, maka kerangka berpikir dalam penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 6. Kerangka Berpikir

Gambar 6 menunjukkan alur kerangka berpikir penelitian yang dimulai dari studi pustaka dan pengumpulan data gempa serta tanah dari berbagai sumber [46]. Data tersebut dianalisis untuk menghitung nilai CSR, CRR, dan MSF guna menentukan probabilitas likuifaksi [47]. Selanjutnya, hasil analisis tanah dikaitkan dengan data rumah tinggal berdasarkan klasifikasi BPS dan NJOP untuk menghitung estimasi kerugian akibat gempa likuifaksi [48]. Hasil akhir penelitian digunakan sebagai dasar mitigasi risiko kerusakan rumah tinggal di Jakarta Barat.

2.4. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menjadi acuan penting dalam studi ini. [2] menganalisis potensi likuifaksi di Banda Aceh dengan metode CSR, CRR, dan LPI, menunjukkan nilai LPI 4,999–8,874 (kategori rendah–sedang) dan $FS < 1$. [49] menemukan zona likuifaksi di Bantul pada $a_{max}/g = 0,09-0,25$, sedangkan [44] menyimpulkan gempa Jakarta 2019 tidak memenuhi 4 Chinese Criteria namun tetap berpotensi likuifaksi. [11] melaporkan kerusakan di Petobo mencapai 25,36 km atau 83,7% area terdampak [50].

2.5. Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian merupakan jawaban awal terhadap rumusan masalah yang berfungsi sebagai batasan agar penelitian tetap terarah. Dalam penelitian ini, hipotesis yang diajukan adalah bahwa potensi nilai kerugian dapat diperkirakan sehingga dapat dijadikan dasar evaluasi apabila terjadi gempa yang berpotensi menimbulkan likuifaksi di wilayah Jakarta Barat.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Deskripsi Lokasi Penelitian

Kota Jakarta Barat, yang menjadi lokasi penelitian, terletak di Provinsi DKI Jakarta pada koordinat $106^{\circ}22'42''$ – $106^{\circ}58'18''$ BT dan $5^{\circ}19'12''$ – $6^{\circ}23'54''$ LS, dengan luas wilayah $129,54 \text{ km}^2$ yang terbagi dalam delapan kecamatan. Wilayah ini berbatasan dengan Jakarta Utara di utara, Jakarta Pusat di timur, Jakarta Selatan dan Provinsi Banten di selatan, serta Kabupaten Tangerang di barat. Jakarta Barat didominasi oleh tanah aluvial yang memperkuat getaran gempa dan meningkatkan risiko kerusakan infrastruktur, di mana bersama Jakarta Selatan dan Timur tergolong wilayah dengan potensi bahaya gempa tertinggi di DKI Jakarta [13].



Gambar 7. Peta Lokasi Kota Jakarta Barat

Gambar 7 menunjukkan peta Kota Jakarta Barat, yang berbatasan dengan Jakarta Utara, Jakarta Pusat, Jakarta Selatan, serta Provinsi Banten dan Kabupaten Tangerang. Secara geografis, Jakarta Barat memiliki posisi yang strategis dengan akses ke berbagai wilayah lain di DKI Jakarta dan sekitarnya. Letak geografis ini menjadikan Jakarta Barat sebagai salah satu wilayah yang sangat penting dalam perencanaan tata ruang dan mitigasi bencana, mengingat lokasinya yang rentan terhadap dampak bencana alam, termasuk gempa bumi.

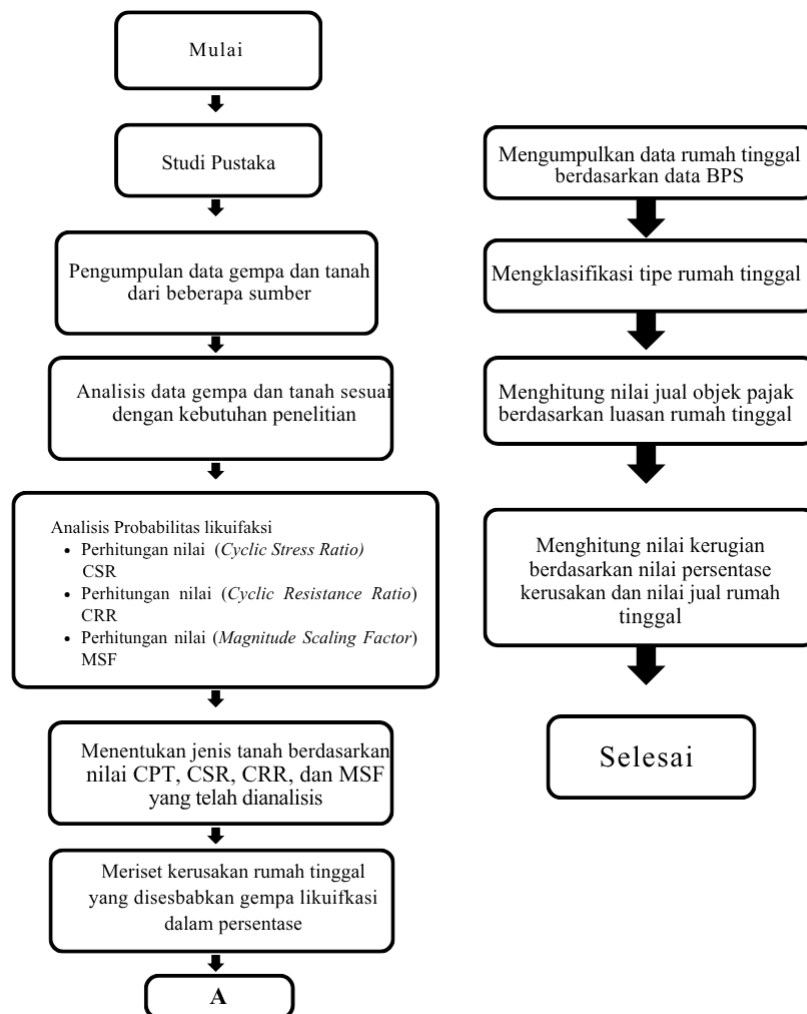
Wilayah Jakarta Barat sebagian besar terdiri dari tanah aluvial, yang merupakan hasil endapan dari sungai-sungai yang mengalir melalui kawasan tersebut. Tanah aluvial ini memiliki karakteristik yang sangat lunak, yang dapat meningkatkan potensi likuifaksi dan memperburuk dampak dari gempa bumi, terutama pada gempa dengan kekuatan besar. Karakteristik tanah tersebut juga membuat Jakarta Barat lebih rentan terhadap kerusakan struktural apabila terjadi gempa. Oleh karena itu, pemahaman mengenai kondisi geologi dan risiko gempa di Jakarta Barat sangat penting untuk merancang strategi mitigasi yang efektif.

3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi studi pustaka, pengumpulan data gempa dari BMKG dan USGS (magnitudo, lokasi, kedalaman, durasi, intensitas), serta data tanah dari Badan Geologi melalui uji *CPT* dengan parameter q_c dan f_s . Analisis dilakukan dengan menghitung CSR, CRR, dan MSF untuk menilai potensi likuifaksi, serta estimasi kerusakan dan kerugian berdasarkan NJOP.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Berikut disajikan serangkaian langkah atau proses penelitian yang diilustrasikan dalam diagram alir.



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

Gambar 8 memperlihatkan alur penelitian yang dimulai dengan studi pustaka, dilanjutkan dengan pengumpulan data gempa dan geoteknik tanah. Selanjutnya, analisis potensi likuifaksi dilakukan menggunakan metode CSR, CRR, dan MSF, yang mengukur risiko likuifaksi berdasarkan kondisi tanah dan beban seismik. Tahap berikutnya adalah klasifikasi rumah dan perhitungan estimasi kerugian menggunakan data BPS dan NJOP di Jakarta Barat untuk menilai dampak finansial gempa likuifaksi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi nilai kerugian rumah tinggal di Jakarta Barat akibat potensi likuifaksi. Pendekatan yang digunakan mencakup analisis probabilitas likuifaksi menggunakan data uji CPT di 25 titik lokasi dan pengklasifikasian rumah tinggal berdasarkan luasan dan NJOP. Penilaian ini dilakukan dengan mengkalkulasi parameter teknis seperti CSR, CRR, dan FS.

4.1. Analisis Potensi Likuifaksi

Perhitungan percepatan gempa di Jakarta berdasarkan data Pusgen 2017 menunjukkan bahwa gempa dengan magnitudo 7,0 SR yang terjadi pada tahun 2009 di lokasi 6°07'17.5"S 106°43'30.1"E memiliki kedalaman 52,1 km dan jarak episenter 195 km. Jarak hiposenter dihitung sebesar 201,84 km. Berdasarkan perhitungan menggunakan tiga rumus empiris, diperoleh percepatan maksimum gempa sebesar 27,78 gal, 35,92 gal, dan 67,4 gal. Oleh karena itu, untuk analisis potensi likuifaksi digunakan nilai percepatan gempa terbesar yaitu

67,4 gal.

4.2. Perhitungan Percepatan Gempa (berdasarkan nilai FPGA)

Perhitungan percepatan gempa dapat dilakukan dengan beberapa metode analisis. Dalam penelitian ini digunakan metode percepatan PGA dengan rumus $a_{max} = 1,1 \times 0,4 g \times 981$, sehingga diperoleh nilai percepatan sebesar 431,64 gal. Perubahan nilai percepatan ini memengaruhi potensi likuifaksi pada seluruh titik penelitian.

4.3. Perhitungan Berdasarkan Nilai N-SPT

Nilai *N-SPT* merupakan faktor penting dalam menentukan potensi likuifaksi tanah. Berdasarkan penelitian terdahulu, tanah dengan *N-SPT* 0–20 berpotensi likuifaksi tinggi, 20–30 sedang, dan lebih dari 30 tidak berpotensi likuifaksi. Dalam analisis ini digunakan data gempa bermagnitudo 7,00 SR dengan nilai $MSF = \frac{10^{2,24}}{7^{2,56}} = 1,1927$ dan percepatan maksimum $a_{max} = 0,4 g$ mengacu pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia (2017). Nilai tekanan air pori (P_a) adalah 98,066 kN/m² dan berat jenis air (γ_w) sebesar 10 kN/m³. Menurut Tarigan (2022), nilai *N-SPT* dikoreksi agar dapat digunakan dalam perhitungan CRR dengan persamaan $(N_1)_{60} = N_m \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S$, di mana C_N dihitung dengan $C_N = \frac{2,2}{(1,2 + \frac{\sigma'_v}{P_a})} < 1,70$.

Tabel 2. Faktor Koreksi Nilai N-SPT

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif	-	CN	$2,2 / (1,2 + (\sigma'_{v0} / p_a))$
Tegangan vertikal efektif	-	CN	$CN \leq 1,7$
Rasio Tenaga	Palu donat (Donut hammer)	CE	0.5 s.d 1.0
Rasio Tenaga	Palu pengaman (Safety hammer)	CE	0.7 s.d 1.2
Rasio Tenaga	Palu otomatis (Automatic-trip Donut-type hammer) 65 s.d 115 mm	CE	0.8 s.d 1.3
Diameter Bor	150 mm	CB	1.0
Diameter Bor	200 mm	CB	1.05
Diameter Bor	<3 m s.d 4 m	CB	1.15
Panjang Batang	4 s.d 6 m	CR	0.75
Panjang Batang	6 s.d 10 m	CR	0.8
Panjang Batang	10 s.d 30 m	CR	0.85
Panjang Batang	Tabung standar	CR	0.95
Panjang Batang	Tabung dengan pelapis (liner)	CR	1.0
Pengambilan Contoh	-	CS	1.0
Pengambilan Contoh	-	CS	1.1 s.d 1.3

Tabel 2 menjelaskan faktor koreksi nilai N-SPT berdasarkan kondisi lapangan dan jenis alat uji. Koreksi mencakup pengaruh tegangan vertikal efektif (CN), rasio tenaga (CE), diameter bor (CB), panjang batang bor (CR), dan pengambilan contoh (CS). Nilai koreksi ini digunakan untuk menormalkan hasil uji N-SPT agar akurat dalam menggambarkan kekuatan tanah sebenarnya di berbagai kondisi lapangan.

5. IMPLIKASI MANAJERIAL

Temuan penelitian ini memiliki implikasi penting bagi sektor publik dan swasta dalam perencanaan wilayah, pengelolaan aset properti, serta kebijakan mitigasi risiko bencana. Pemerintah daerah dapat memanfaatkan hasil pemetaan digital untuk menetapkan prioritas anggaran mitigasi, seperti program retrofit bangunan dan rencana kontinjensi berbasis zonasi risiko. Peta risiko likuifaksi juga dapat dijadikan acuan oleh instansi penanggulangan bencana dalam penyusunan simulasi evakuasi dan edukasi masyarakat. Sementara itu, bagi pengembang properti dan manajer aset, informasi mengenai lokasi rawan likuifaksi serta estimasi kerugian berdasarkan NJOP dan luas bangunan menjadi dasar penting dalam analisis risiko keuangan, perencanaan investasi, dan penerapan strategi asuransi maupun pembangunan yang lebih tangguh terhadap bencana.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data yang diolah dengan berbagai metode serta merujuk pada penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa gempa dengan magnitudo sebesar 7,00 SR dan percepatan dalam rentang 0,3-0,4 g berpotensi menimbulkan likuifaksi. Wilayah Jakarta Barat memiliki potensi likuifaksi tinggi dengan rata-rata nilai $FS < 1$. Hasil ini penting sebagai dasar bagi pemerintah daerah dalam kebijakan mitigasi bencana berbasis risiko dan penyusunan rencana tata ruang adaptif. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas cakupan pada aspek sosial ekonomi dan pengembangan model estimasi berbasis kecerdasan buatan.

Potensi tertinggi likuifaksi berdasarkan analisis ditemukan pada beberapa titik, antara lain: Titik ke-4 di Jalan Tubagus Angke pada kedalaman 3,5 meter ($FS_3 = 0,0066$), Titik ke-6 di Jalan Duri Selatan VI pada kedalaman 5,5 meter ($FS_3 = 0,0051$), dan Titik ke-11 di Jalan Musyawarah pada kedalaman 3,3 meter ($FS_3 = 0,0064$). Titik-titik lainnya yang juga menunjukkan nilai FS sangat rendah berada di Jalan Duri Kencana Barat, Jalan Daan Mogot KM 16, Jalan Mangga Besar, Jalan Mangga Ubi, dan Jalan Tanjung Gendong Baru. Nilai FS_3 di hampir semua titik tersebut berada jauh di bawah 0,1, menunjukkan risiko tinggi terjadinya likuifaksi jika terjadi gempa.

Selain dampak geologis, penelitian ini juga memperkirakan potensi kerugian ekonomi yang ditimbulkan. Berdasarkan Nilai Jual Objek Pajak (NJOP) untuk bangunan sesuai Daftar Biaya Komponen Bangunan (DBKB) yang diterbitkan Pemerintah Kota Jakarta Barat, serta estimasi persentase kerusakan bangunan akibat gempa sebesar 75% seperti yang ditemukan pada penelitian sebelumnya, total kerugian diperkirakan mencapai Rp 21.225.306.671.337,- atau sekitar 21,23 triliun rupiah. Estimasi ini menunjukkan urgensi mitigasi risiko likuifaksi di kawasan padat penduduk seperti Jakarta Barat.

7. SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, meskipun telah diperoleh kesimpulan mengenai beberapa titik yang mengalami likuifaksi melalui tiga metode perhitungan, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Oleh karena itu, disarankan adanya penggunaan metode perhitungan potensi likuifaksi lain sebagai pembandingan, serta penambahan jumlah titik pengujian agar data yang diperoleh lebih representatif dan dapat dibandingkan secara lebih menyeluruh. Selain itu, pemanfaatan aplikasi atau perangkat lunak pendukung juga diperlukan untuk meningkatkan akurasi analisis, baik dalam hal potensi likuifaksi maupun estimasi persentase kerusakan. Pada aspek analisis nilai rumah tinggal, perlu dilengkapi dengan lebih banyak data dari instansi terkait guna memperoleh estimasi yang lebih valid dan dapat dipertanggungjawabkan.

8. DEKLARASI

8.1. Tentang Penulis

Indah Maryati (IM)  <https://orcid.org/0009-0006-7452-9064>

Muhammad Zaki (MZ)  <https://orcid.org/0000-0002-5746-2359>

Darmawan Pontan (DP)  <https://orcid.org/0000-0001-7875-6105>

Tulus Widiarso (TW)  <https://orcid.org/0009-0002-6345-3608>

8.2. Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: IM; Metodologi: MZ; Perangkat Lunak: DP; Validasi: TW dan IM; Analisis Formal: MZ dan DP; Investigasi: TW; Sumber Daya: IM; Kurasi Data: MZ; Penulisan Draf Asli Persiapan: DP dan TW; Penulisan Tinjauan dan Penyuntingan: IM dan MZ; Visualisasi: DP; Semua penulis, TW, IM, MZ dan DP, telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

8.3. Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang disajikan dalam studi ini tersedia atas permintaan dari penulis terkait.

8.4. Pendanaan

Penulis tidak menerima dukungan finansial untuk penelitian, kepenulisan, dan/atau penerbitan artikel ini.

8.5. Deklarasi Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki konflik kepentingan, konflik kepentingan finansial yang diketahui, atau hubungan pribadi yang dapat memengaruhi pekerjaan yang dilaporkan dalam makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Muhanifah, A. Adi, and F. Faris, "The condition of upper soil layer that causes severe damage to land due to liquefaction," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1091, no. 1. IOP Publishing, 2022, p. 012025.
- [2] M. Munirwansyah, R. P. Munirwan, V. Listia, I. Irhami, and R. P. Jaya, "Sumatra-fault earthquake source variation for analysis of liquefaction in aceh, northern indonesia," *The Open Civil Engineering Journal*, vol. 17, p. e18741495270939, 2023.
- [3] N. Nurhadi, H. Akasse, and U. Jemy, "Analisis dampak ekonomi akibat bencana alam gempa bumi, tsunami, dan likuifaksi di kota palu," *Jurnal Kolaboratif Sains*, vol. 4, no. 11, pp. 578–585, 2021.
- [4] B. P. S. P. D. Jakarta, "Master wilayah provinsi dki jakarta 2024," <https://jakarta.bps.go.id/id/publication/2025/03/21/3317bb0d283aa5139078450c/master-wilayah-provinsi-dki-jakarta-2024.html>, Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta, March 21 2025, nomor Katalog: 1301005.31, Nomor Publikasi: 31000.25010.
- [5] R. Bhandari and M. V. A. Sin, "Optimizing digital marketing in hospitality industries," *Startupreneur Bisnis Digital (SABDA Journal)*, vol. 2, no. 1, 2023.
- [6] M. Zook and M. McCanless, "Blockchain real estate: The messy landing of digital property," *Progress in Economic Geography*, vol. 3, no. 1, p. 100039, 2025.
- [7] A. A. Odebode, O. T. Ogunbayo, A. B. Obayomi, and A. A. Adewole, "The potential of digital-based technology in improving employee productivity in real estate firms in lagos, nigeria," *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2025.
- [8] I. Astuti and T. Ramadhan, "Kajian ukm di kota tangerang: Percepatan transformasi era society 5.0 akibat perubahan perilaku konsumen pasca covid-19 dan dampaknya terhadap perekonomian," *ADI Bisnis Digital Interdisiplin Jurnal*, vol. 4, no. 1, pp. 58–63, 2023.
- [9] A. Nurusyifa, M. Valeri, A. S. Rahman *et al.*, "Pemetaan indeks bahaya gempa bumi dan pembuatan shakemap gempa bumi dki jakarta," *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, vol. 3, no. 6, pp. 8–19, 2023.
- [10] T. Prayoga, "Analisis laju penurunan muka tanah (land subsidence) berdasarkan metode dinsar di provinsi dki jakarta," in *TECHNOPEX 2023*, 2023.
- [11] S. Sainuddin, "Analisis dampak kerusakan infrastruktur akibat likuifaksi di palu," *Jurnal Azimut*, vol. 4, no. 2, pp. 78–84, 2022.
- [12] S. P. Tampubolon, I. Sarasantika, and I. Suarjana, "Analisis kerusakan struktur bangunan dan manajemen bencana akibat gempa bumi, tsunami, dan likuifaksi di palu= analysis of building structure damage and disaster management due to earthquake, tsunami, and liquefaction in palu," *Received: March, 13, 2022; Revised: June, 18, 2022; Accepted: July, 05, 2022; Available Online: July, 11, 2022 169 Copyright@ 2022. Universitas Islam 45 BENTANG: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 169–186, 2022.
- [13] T. A. P. Setiadi, A. R. Hakim, R. M. Taruna, S. Rohadi, and P. Susilanto, "Percepatan tanah maksimum di permukaan pada wilayah dki jakarta menggunakan metode probabilistik," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 21, no. 2, pp. 81–90, 2021.
- [14] K. Mirdad, O. P. M. Daeli, N. Septiani, A. Ekawati, and U. Rusilowati, "Optimizing student engagement and performance using ai-enabled educational tools," *CORISINTA*, vol. 1, no. 1, pp. 53–60, 2024.
- [15] J. T. Hatmoko and H. Suryadharma, "Prediction of liquefaction potential study at bantul regency the province of special region of yogyakarta indonesia," *Procedia Engineering*, vol. 125, pp. 311–316, 2015.
- [16] M. Jahiri, I. I. D. Yusuf *et al.*, "Penerapan e-learning sebagai media pembelajaran berbasis aplikasi android menggunakan metode research and development," *Technomedia Journal*, vol. 8, no. 2 Special Issues, pp. 261–275, 2023.
- [17] L. Liliwarti, "Informasi titik-titik likuifaksi akibat gempa bumi di kota padang," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, vol. 15, no. 1, pp. 17–23, 2018.
- [18] T. Mardiyanti, K. Setyowati *et al.*, "Digital-based land service innovation: Electronic certificate check

- at the land office klaten regency,” in *The Fifth International Conference on Innovations Social Sciences Education and Engineering*, vol. 5, 2025, pp. 151–151.
- [19] P. S. G. N. (Indonesia), *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian ..., 2017.
- [20] N. D. Novianti, S. D. Maulina, and S. Smith, “Smart grids: Integrating ai for efficient renewable energy utilization,” *International Transactions on Artificial Intelligence*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2024.
- [21] U. Wahyono, K. A. A. Untara, M. Pasaribu, and M. Syarif, “Development of jono oge ‘walking house’ liquefaction media for science learning and mitigation,” *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 11, no. 8, pp. 1235–1244, 2025.
- [22] A. H. Aribathi, V. T. Devana *et al.*, “Filsafat ilmu pengetahuan islam berbasis teknologi dalam perspektif epistemologi,” *Alfabet Jurnal Wawasan Agama Risalah Islamiah, Teknologi dan Sosial*, vol. 1, no. 1, pp. 1–15, 2021.
- [23] D. Wijayanto, F. Faris, and W. Wilopo, “Liquefaction potential assessment using a nonlinear soil model at rendani airport, manokwari, west papua, indonesia,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1517, no. 1. IOP Publishing, 2025, p. 012026.
- [24] R. Nanda, S. A. Pratama, M. Y. Pusadan, and Y. Anshori, “Design thinking for kami peduli website to mobilize community disaster response,” *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, vol. 6, no. 1, pp. 51–64, 2024.
- [25] A. Anggi Devtami, “Jurnalisme bencana pada pemberitaan galodo tanah datar sumatera barat di media online hariansinggalang.co.id,” Ph.D. dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2025.
- [26] E. Depiana and H. Hartelina, “Marketing service on customer satisfaction of yamaha motorcycles at pt ramarayo perdana karawang,” *APTISI Transactions on Management*, vol. 5, no. 1, pp. 11–19, 2021.
- [27] I. S. Fadli, N. P. Lestari, and A. A. Putri, “Implementation of white hat seo-based digital incubator platform,” *International Transactions on Education Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 122–130, 2023.
- [28] S. Suryanto, A. A. A. Zawawi, and M. Morales, “Optimalisasi media sosial sebagai sarana peningkatan keterlibatan sosial umat islam: Optimizing social media as a means of increasing social involvement of muslims,” *Alfabet Jurnal Wawasan Agama Risalah Islamiah, Teknologi dan Sosial*, vol. 2, no. 1, pp. 97–106, 2025.
- [29] M. Junaid and A. Wibowo, “Analisis spasial-temporal kerugian perumahan akibat likuifaksi (studi kasus gempa palu tahun 2018 di balaroa, petobo, dan jono oge),” *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, vol. 26, no. 1, pp. 17–27, 2025.
- [30] M. S. Aprizal, M. Y. Fadilla, M. R. A. Adha *et al.*, “Ensuring security using blockchain technology,” *Blockchain Frontier Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 54–57, 2023.
- [31] U. Rahardja, M. L. Daeli, S. A. Anjani, L. Pasha, A. Asri, and H. Zainarhu, “Enhancing trust and efficiency in e-commerce transactions through blockchain ai synergy,” *ADI Journal on Recent Innovation*, vol. 7, no. 1, pp. 25–37, 2025.
- [32] W. Z. Hutahaean, S. Mafiroh, and D. Wijanarko, “Pengaruh pondasi tiang pancang terhadap likuifaksi tanah pasir jenuh air,” *JURNAL DAKTILITAS*, vol. 5, no. 1, pp. 17–20, 2025.
- [33] S. Y. Putri, L. Meria *et al.*, “Pengaruh persepsi nilai dan kepercayaan terhadap keputusan pembelian yang di mediasi oleh minat beli,” *Technomedia Journal*, vol. 8, no. 1 Special Issues, pp. 92–107, 2023.
- [34] A. M. R. Najib and B. Setiawan, “Studi komparatif keterikatan tempat (place attachment) pada komunitas relokasi dan in-situ pascabencana likuifaksi di sulawesi tengah,” *Jurnal Peweka Tadulako*, vol. 4, no. 2, pp. 142–156, 2025.
- [35] H. Liu, C. Wang, D. Wu, and M. Zhang, “Dynamic properties of saturated volcanic ash: Liquefaction failure characteristics and cyclic strength criteria,” *Engineering Geology*, p. 108267, 2025.
- [36] B. Tiara, J. Suwita, T. Nurhaeni, A. Asmawati, D. Apriliasari, S. A. Anjani *et al.*, “Blockchain trust and risk perception influencing millennial cryptocurrency investment decisions,” in *2025 4th International Conference on Creative Communication and Innovative Technology (ICCIT)*. IEEE, 2025, pp. 1–7.
- [37] I. Shantilawati, O. I. Suri, R. A. Sunarjo, S. A. Anjani, and D. Robert, “Unveiling new horizons: Ai-driven decision support systems in hrm-a novel bibliometric perspective,” *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 7, no. 1, pp. 252–263, 2025.
- [38] B. P. S. P. D. Jakarta, “Statistik perumahan provinsi dki jakarta 2022,” August 2023, diakses pada 11 Oktober 2025. [Online]. Available: <https://jakarta.bps.go.id/publication/2023/08/28/>

- 96876261abce6a82f76e7080/statistik-perumahan-provinsi-dki-jakarta-2022.html
- [39] S. A. Anjani and I. A. Mutiara, "Mengintegrasikan teknologi blockchain dalam pendidikan tinggi: Meningkatkan transparansi dan keamanan dalam kredensial akademik," *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 1, pp. 65–71, 2024.
- [40] R. Afif and K. Nugroho, "Analisis sentimen dan prediksi ulasan pada aplikasi info bmkng," *JURNAL FASILKOM*, vol. 15, no. 2, pp. 335–367, 2025.
- [41] L. Hanafi, H. Hardiyatmo, and F. Faris, "Liquefaction potential evaluation using near-surface seismic refraction tomography: a case study," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1458, no. 1. IOP Publishing, 2025, p. 012036.
- [42] S. Wijono, U. Rahardja, H. D. Purnomo, N. Lutfiani, and N. A. Yusuf, "Leveraging machine learning models to enhance startup collaboration and drive technopreneurship," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 6, no. 3, pp. 432–442, 2024.
- [43] B. Fan, Z. Cheng, T. Wang, and S. Wang, "Dynamic response characteristics and liquefaction analysis of a phosphogypsum tailings dam," *International Journal of Geomechanics*, vol. 25, no. 1, p. 05024012, 2025.
- [44] N. Haryati, E. Amrina, D. I. Ramadona, and G. J. A. Safitry, "Analisis potensi likuifaksi pada beberapa lokasi di kota padang menggunakan kurva tsuchida dan chinese criteria," *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, vol. 12, no. 2, pp. 228–234, 2025.
- [45] M. A. Yanuary, F. Faris, and W. Wilopo, "Liquefaction potential analysis at west abutment of new kuning palu bridge, central sulawesi, indonesia," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1488, no. 1. IOP Publishing, 2025, p. 012062.
- [46] F. A. Baso, S. L. Sitorus, V. Meilinda, S. A. Anjani, and M. Rodriguez, "Analysis of omni channel strategy in digital retail on modern indonesian consumer behavior: Analisis strategi omni channel dalam ritel digital terhadap perilaku konsumen indonesia modern," *ADI Bisnis Digital Interdisiplin Jurnal*, vol. 6, no. 1, pp. 66–76, 2025.
- [47] C. S. Bangun, H. Hetilaniar, A. Faturahman, S. Jackson, S. A. Anjani, E. A. Natasya *et al.*, "Analyzing opportunities and challenges of artificial intelligence integration in indonesian innovation and education," in *2025 4th International Conference on Creative Communication and Innovative Technology (ICCIT)*. IEEE, 2025, pp. 1–7.
- [48] I. Ardiansyah, "Studi potensi likuifaksi dengan kurva tsuchida pada situs desa mon geudong kota lhokseumawe," Ph.D. dissertation, Universitas Malikussaleh, 2025.
- [49] N. A. Diana, R. A. A. Soemitro, J. J. Ekaputri, T. R. Satrya, and D. D. Warnana, "Evaluasi risiko likuifaksi berdasarkan karakteristik ukuran butir tanah dan hasil tahanan standart penetration test (n-spt) studi kasus bandara yogyakarta internasional airport," *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, vol. 6, no. 1, pp. 51–58, 2024.
- [50] M. Farid, "Kajian kebutuhan rumah di kota palu," *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*, vol. 11, no. 1, pp. 28–43, 2025.
-