

ANALISIS RISIKO PEKERJAAN FONDASI *BORED PILE* PADA TANAH *CLAY SHALE* DI KAWASAN IKN (IBU KOTA NUSANTARA)

RISK ANALYSIS OF BORED PILE FOUNDATION WORKS IN CLAY-SHALE SOIL IN THE IKN (NATIONAL CAPITAL) AREA

¹Dwi Pebriando Tampubolon, ²Mega Waty

^{1,2}Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Tarumanagara Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia.

¹dwi327242002@stu.untar.ac.id, ²mega@ft.untar.ac.id

Abstrak

Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) menghadapi tantangan geoteknik akibat tanah *clay shale* yang mudah mengalami *slaking* dan penurunan kekuatan ketika terpapar air dan udara. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan berbagai risiko pada pekerjaan fondasi *bored pile*. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi, menentukan prioritas risiko, dan menetapkan mitigasi pekerjaan fondasi *bored pile* pada tanah *clay shale* menggunakan metode *Risk Matrix*. Penelitian dilakukan melalui studi literatur, validasi oleh ahli, dan penyebaran kuesioner kepada responden yang memiliki pengalaman dalam pekerjaan fondasi *bored pile* dan penanganan tanah *clay shale*. Hasil penelitian menunjukkan risiko prioritas adalah runtuhnya dinding lubang bor, ketidakstabilan lubang bor, *clay shale slaking*, degradasi kekuatan geser *clay shale*, serta investigasi tanah yang tidak mempresentasikan *clay shale*. Mitigasi difokuskan pada pengendalian *slaking* dan degradasi kekuatan geser *clay shale*, pelaksanaan pengeboran cepat dan terkontrol, pengecoran beton maksimal 2–3 jam setelah pengeboran serta penggunaan *temporary casing* atau *full casing* untuk menjaga stabilitas lubang bor. Strategi mitigasi ini diharapkan dapat meningkatkan keberhasilan fondasi di IKN serta mendukung *Sustainable Development Goals* (SDGs) 9 dan SDGs 11 melalui pembangunan infrastruktur yang aman dan berkelanjutan.

Kata kunci: *Bored Pile, Clay Shale, IKN, Risk Matrix, SDGs.*

Abstract

The development of the Indonesian Capital City (IKN) faces geotechnical challenges due to clay shale soil, which is prone to slaking and strength reduction when exposed to water and air. This condition has the potential to cause various risks in bored pile foundation work. This study aims to identify, prioritize risks, and determine mitigation for bored pile foundation work on clay shale soil using the Risk Matrix method. The study was conducted through literature review, expert validation, and questionnaire distribution to respondents who have experience in bored pile foundation work and handling clay shale soil. The results show that the priority risks are collapse of the borehole wall, borehole instability, clay shale slaking, degradation of clay shale shear strength, and investigation of soils that do not represent clay shale. Mitigation focuses on controlling slaking and degradation of clay shale shear strength, implementing fast and controlled drilling, casting concrete a maximum of 2–3 hours after drilling, and using temporary casing or full casing to maintain borehole stability. This mitigation strategy is expected to increase the success of the foundation in IKN and support Sustainable Development Goals (SDGs) 9 and SDGs 11 through safe and sustainable infrastructure development.

Keywords: *Bored Pile, Clay Shale, IKN, Risk Matrix, SDGs.*

PENDAHULUAN

Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) sebagai proyek strategis nasional memerlukan berbagai infrastruktur yang aman dan andal, seperti gedung pemerintahan, jalan, jembatan, dan kawasan hunian. Keberhasilan pembangunan tersebut sangat dipengaruhi oleh pemilihan sistem fondasi yang sesuai dengan kondisi geoteknik setempat. Salah satu jenis fondasi yang banyak digunakan di kawasan IKN adalah fondasi *bored pile*. Fondasi *bored pile* (*drilled shaft*) merupakan fondasi dalam yang dibuat dengan cara mengebor tanah hingga kedalaman tertentu, kemudian lubang bor diisi beton dengan atau tanpa tulangan baja untuk menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah yang lebih kuat (Das, 2011). Meskipun memiliki berbagai keunggulan, pelaksanaan fondasi *bored pile* memiliki tingkat risiko yang tinggi, terutama pada kondisi tanah yang kurang stabil. Kondisi tersebut banyak ditemukan pada tanah lempung lunak, lanau, pasir lepas, dan material granular halus, yang dapat menyebabkan bertambahnya volume pengeboran, waktu pelaksanaan, dan biaya konstruksi (Surya et al., 2025). Pada tanah ekspansif, perubahan kadar air dapat mengakibatkan *settlement*, *heave*, dan *negative skin friction* yang memengaruhi kinerja fondasi (Andika & Suhendra, 2023).

Selain itu, *clay shale* merupakan salah satu material yang berpotensi menimbulkan permasalahan signifikan pada pekerjaan fondasi *bored pile*. Material ini merupakan transisi antara tanah lempung dan batuan sedimen yang sensitif terhadap perubahan kadar air serta gangguan mekanis. Proses pengeboran pada *clay shale* dapat memicu degradasi material yang ditandai dengan penurunan kekuatan geser dan daya dukung tanah di sekitar lubang bor (Arief, et al., 2022). Kondisi tersebut meningkatkan risiko ketidakstabilan dinding lubang bor, terjadinya runtuhnya lokal, serta perubahan geometri tiang. Selain itu, degradasi tanah selama proses

pengeboran juga berpotensi menurunkan kualitas pengecoran dan mengurangi kapasitas daya dukung fondasi. Oleh karena itu, pekerjaan fondasi *bored pile* pada tanah *clay shale* memerlukan perhatian khusus untuk meminimalkan risiko yang dapat memengaruhi kinerja fondasi secara keseluruhan (Arief, et al., 2022).

Kondisi tersebut menjadi sangat relevan di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN), yang didominasi oleh lapisan tanah *clay shale*. Material ini bersifat ekspansif dan sensitif terhadap perubahan kadar air akibat kandungan mineral lempung aktif, terutama *montmorillonit*. Peningkatan kadar air dapat menyebabkan pengembangan volume tanah, penurunan kuat geser, dan berkurangnya daya dukung tanah. Selain itu, infiltrasi air mempercepat proses pelapukan dan degradasi material, sehingga stabilitas tanah dan struktur di atasnya menjadi lebih rentan. *Clay shale* di kawasan IKN juga rentan mengalami proses *slaking* akibat siklus basah–kering yang menyebabkan kehilangan kohesi, penurunan kuat geser, serta meningkatnya potensi retakan dan ketidakstabilan tanah (Panjaitan & Syahrul, 2023).

Karakteristik tersebut sejalan dengan temuan Widiyanti et al. (2017) yang menyatakan bahwa *clay shale* memiliki perilaku yang berbeda dibandingkan tanah lempung pada umumnya. Dalam kondisi alami (*in situ*), material ini relatif keras dan kuat, namun setelah mengalami pengeboran serta terpapar udara dan air, kekuatan dan durabilitasnya menurun secara signifikan akibat proses degradasi. Kondisi ini telah menyebabkan berbagai permasalahan geoteknik, seperti ketidakstabilan lereng, longsor, dan penurunan daya dukung fondasi. Di Indonesia, kasus yang berkaitan dengan lapisan *clay shale* telah dilaporkan pada proyek Hambalang (a), Jalan Tol Semarang–Bawen (b), Jalan Tol Cipularang (c), serta lereng galian (d) Jalan Lingkar Sepaku Segmen 2 di kawasan IKN. Selain itu,

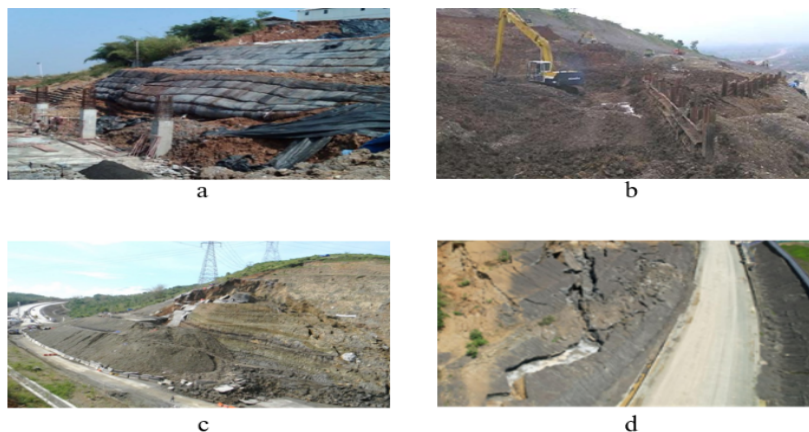
sejumlah kerusakan bangunan dan kejadian longsor di kawasan IKN juga dikaitkan dengan ketidakstabilan lapisan *clay shale* (Widianti et al., 2017), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Botts (1986) menyatakan bahwa metode geoteknik konvensional sering kali tidak mampu memprediksi stabilitas jangka panjang *clay shale* karena hanya mempertimbangkan sifat awal material dan mengabaikan proses pelunakan progresif. Akibatnya, desain yang pada awalnya dinilai aman dapat mengalami penurunan stabilitas seiring waktu. Oleh karena itu, manajemen risiko pada pekerjaan tanah dan fondasi sangat penting karena adanya ketidakpastian kondisi geoteknik yang dapat menyebabkan biaya tak terduga dan keterlambatan proyek (Andjani et al., 2026). Kegagalan pada pekerjaan fondasi *bored pile* umumnya disebabkan oleh kurangnya identifikasi dan pengendalian risiko sejak tahap perencanaan hingga konstruksi. Mata et al., (2021) menyatakan bahwa lemahnya manajemen risiko dapat menyebabkan keterlambatan proyek dan pembengkakan biaya yang signifikan.

Berbagai penelitian telah membahas risiko pada pekerjaan fondasi *bored pile*, namun kajian yang secara khusus membahas risiko pada tanah *clay shale* di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN) masih terbatas. Padahal,

karakteristik *clay shale* yang sensitif terhadap perubahan kadar air dan gangguan mekanis berpotensi menimbulkan risiko konstruksi yang berbeda dibandingkan jenis tanah lainnya.

Oleh karena itu, diperlukan analisis risiko untuk mengidentifikasi dan menentukan prioritas risiko pada pekerjaan fondasi *bored pile* di tanah *clay shale*. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Risk Matrix*, yang mengombinasikan tingkat probabilitas dan dampak untuk menentukan tingkat risiko serta prioritas penanganannya. Berdasarkan Badan Standardisasi Nasional (2016), metode ini memiliki tingkat penerapan *strongly applicable* dalam penilaian risiko. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi risiko yang berpotensi terjadi pada pekerjaan fondasi *bored pile* di tanah *clay shale* kawasan IKN, menilai tingkat risiko menggunakan metode *risk matrix*, serta menentukan prioritas risiko yang memerlukan penanganan segera. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan manajemen risiko konstruksi, khususnya pada pekerjaan fondasi *bored pile* di lingkungan geoteknik yang kompleks, serta menjadi referensi bagi pemilik proyek, konsultan, dan kontraktor dalam meningkatkan keberhasilan pelaksanaan pembangunan di Ibu Kota Nusantara.



Gambar 1. Contoh Kasus Clay Shale di Indonesia

Sumber: Negara, 2023.

Sebagai bagian dari upaya mendukung pembangunan yang berkelanjutan, penelitian ini memiliki keterkaitan dengan beberapa tujuan dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Penerapan manajemen risiko pada pekerjaan fondasi *bored pile* di tanah *clay shale* berkontribusi terhadap pencapaian SDGs 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*) melalui peningkatan keandalan dan keberlanjutan infrastruktur, serta SDGs 11 (*Sustainable Cities and Communities*) melalui pengurangan risiko konstruksi yang dapat

mendukung terciptanya lingkungan binaan yang lebih aman dan berkelanjutan.

METODOLOGI PENELITIAN

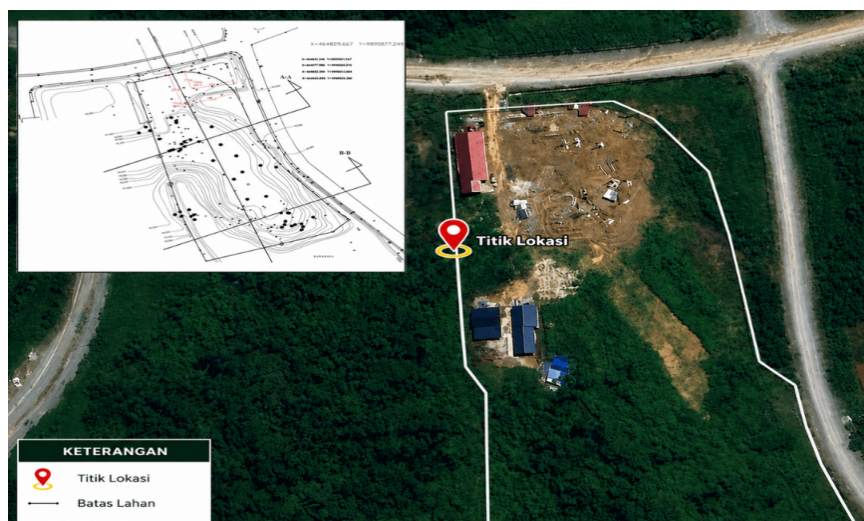
Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan gedung di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN), Kalimantan Timur. Objek penelitian adalah pekerjaan fondasi *bored pile* yang dilaksanakan pada lapisan tanah *clay shale*. Titik lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Sustainable Development Goals

Sumber: United Nations in Indonesia, 2026.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

Sumber: Google Earth, 2026.

Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada responden yang memiliki pengalaman pada pekerjaan fondasi *bored pile* dan memahami kondisi tanah *clay shale*. Setiap responden diminta memberikan penilaian terhadap tingkat kemungkinan terjadinya risiko (probabilitas) dan besarnya dampak risiko terhadap pelaksanaan proyek menggunakan skala penilaian 1 sampai 5 (Project Management Institute, 2017). Nilai probabilitas menunjukkan tingkat kemungkinan suatu risiko terjadi, sedangkan nilai dampak menunjukkan tingkat pengaruh risiko terhadap biaya, waktu, mutu, dan pelaksanaan pekerjaan.

Analisis Risiko

Analisis risiko dilakukan menggunakan metode *Risk Matrix*. Nilai risiko diperoleh dari perkalian antara probabilitas dan dampak. Selanjutnya, nilai risiko diklasifikasikan ke

dalam kategori sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Nilai risiko dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$R = P \times I \quad (1)$$

Dengan:

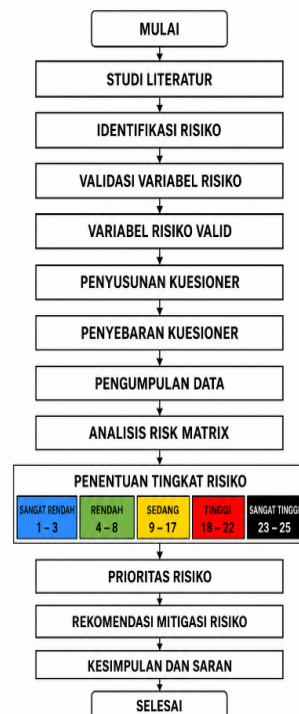
R = Risiko

P = Probabilitas

I = Dampak

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan pada studi ini meliputi identifikasi risiko, validasi variabel risiko, pengumpulan data melalui kuesioner, analisis risiko menggunakan *risk matrix*, penentuan prioritas risiko, serta penyusunan rekomendasi mitigasi. Alur penelitian secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Responden

Penelitian ini melibatkan 10 responden yang terdiri 3 orang ahli (*expert judgement*) sebagai validator hasil identifikasi risiko dari literatur agar karakteristik sesuai dengan kondisi proyek di lapangan. 7 responden lainnya dari berbagai praktisi konstruksi yang memiliki pengalaman pada pekerjaan fondasi *bored pile* dan juga pernah terlibat pada pekerjaan tanah *clay shale*.

Karakteristik responden pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Risiko-Risiko Pekerjaan Fondasi *Bored Pile* pada Tanah *Clay Shale*

Berdasarkan studi literatur dan hasil validasi oleh *expert* diperoleh 31 variabel risiko yang berpotensi terjadi pada pelaksanaan pekerjaan fondasi *bored pile* pada tanah *clay shale* di kawasan IKN. Hasil penilaian risiko pekerjaan fondasi *bored pile* pada tanah *clay shale* dengan metode *risk matrix* disajikan pada Tabel 2

Tabel 1. Karakteristik Responden

Responden	Jabatan	Pengalaman Kerja (Tahun)	Pernah Terlibat Pekerjaan <i>Bored Pile</i>	Pernah Terlibat Pekerjaan Tanah <i>Clay Shale</i>
P1	<i>Geotechnical engineer</i>	>10	ya	ya
P2	<i>Structural engineer</i>	>10	ya	ya
P3	<i>Supervisor</i>	5	ya	ya
P4	<i>Geotechnical engineer</i>	6	ya	ya
P5	<i>Quality control</i>	5	ya	ya
P6	<i>Project manager</i>	7	ya	ya
P7	<i>Consultan</i>	5	ya	ya
P8	<i>Geotechnical engineer</i>	>10	ya	ya
P9	<i>Site manager</i>	5	ya	ya
P10	<i>Geotechnical engineer</i>	>10	ya	ya

Tabel 2. Hasil Penilaian Risiko *Risk Matrix*

Kode	Risiko	P	I	Skor	Level
R1	Degradasi kekuatan geser clay shale	3,70	3,90	14,43	Sedang
R2	Penurunan <i>skin friction bored pile</i>	3,20	3,90	12,48	Sedang
R3	<i>Clay shale</i> mengalami <i>slaking</i> menjadi tanah lunak	3,70	4,30	15,91	Sedang
R4	Ketidakstabilan lubang bor	3,50	4,70	16,45	Tinggi
R5	Runtuhnya dinding lubang bor	3,50	4,90	17,15	Sedang
R6	Penurunan kekuatan batuan akibat <i>unloading</i>	2,80	4,00	11,20	Sedang
R7	Pembentukan dan perkembangan retakan <i>clay shale</i>	3,20	4,00	12,80	Sedang

R8	Penurunan sudut geser dalam tanah	2,90	4,00	11,60	Sedang
R9	<i>Hydration clay shale</i>	3,60	3,70	13,32	Sedang
R10	Perubahan distribusi tegangan tanah	2,90	4,00	11,60	Sedang
R11	Tegangan tanah alami tinggi	2,90	4,00	11,60	Sedang
R12	Keruntuhan tanah sekitar bor	2,70	4,90	13,23	Sedang
R13	Waktu pengeboran lama	2,70	4,50	12,15	Sedang
R14	Paparan air, udara dan cahaya	4,10	3,30	13,53	Sedang
R15	Tekanan <i>slurry</i> rendah	3,20	4,20	13,44	Sedang
R16	Tekanan <i>slurry</i> tinggi	2,90	3,00	8,70	Sedang
R17	Parameter pengeboran tidak sesuai	3,10	4,00	12,40	Sedang
R18	Lintasan pengeboran tidak optimal	2,10	3,00	6,30	Rendah
R19	Hujan saat pekerjaan	2,80	3,00	8,40	Sedang
R20	Mutu beton tidak sesuai spesifikasi	2,70	4,00	10,80	Sedang
R21	Ketidaklurusan pengeboran	2,10	5,00	10,50	Sedang
R22	Tulangan terangkat saat penarikan <i>casing</i>	2,60	4,10	10,66	Sedang
R23	Konsumsi beton berlebih	2,90	3,60	10,44	Sedang
R24	Kerusakan alat pengeboran	3,00	4,20	12,60	Sedang
R25	Kinerja alat pengeboran tidak optimal	2,70	3,30	8,91	Sedang
R26	Mata bor macet	2,70	4,20	11,34	Sedang
R27	Kesalahan penggunaan alat	2,00	3,10	6,20	Rendah
R28	Investigasi tanah tidak mempresentasikan <i>clay shale</i>	2,80	4,90	13,72	Sedang
R29	Produktivitas tenaga kerja rendah	3,10	3,00	9,30	Sedang
R30	Keterlambatan pengiriman material	2,90	3,10	8,99	Sedang
R31	Kurangnya pengawasan pekerjaan konstruksi	2,70	3,80	10,26	Sedang

Gambar 5 menunjukkan hasil pemetaan terhadap 31 risiko pada pekerjaan fondasi *bored pile* di tanah *clay shale*. Pemetaan risiko dilakukan untuk mempermudah visualisasi tingkat risiko berdasarkan skor dan kategori level risiko. Hasil analisis menunjukkan

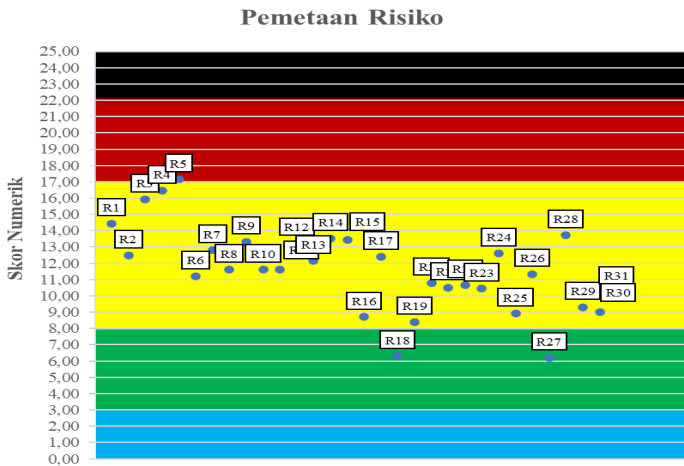
bahwa sebagian besar risiko berada pada kategori sedang, yaitu sebanyak 28 risiko (90,32%). Selain itu, terdapat 1 risiko (3,23%) yang termasuk kategori tinggi dan 2 risiko (6,45%) yang termasuk kategori rendah. Berdasarkan hasil pemetaan tersebut,

mayoritas risiko berada pada kategori sedang (zona kuning). Hanya terdapat satu risiko yang masuk dalam kategori tinggi (zona merah), yaitu risiko R5, sehingga menjadi prioritas utama dalam upaya mitigasi. Sementara itu, risiko R18 dan R27 berada pada kategori rendah (zona hijau). Tidak terdapat risiko yang termasuk dalam kategori sangat rendah (zona biru) maupun sangat tinggi (zona hitam). Temuan ini menunjukkan bahwa pekerjaan fondasi *bored pile* pada tanah *clay shale* memiliki tingkat kerentanan yang cukup signifikan sehingga memerlukan pengendalian risiko yang konsisten selama proses konstruksi. Meskipun demikian, secara umum risiko-risiko yang teridentifikasi masih berada dalam batas yang dapat dikendalikan, dengan fokus utama pengendalian dan mitigasi

diarahkan pada risiko R5 sebagai risiko dengan tingkat prioritas tertinggi.

Prioritas Risiko

Prioritas risiko pada *risk matrix* ditentukan berdasarkan kombinasi probabilitas dan dampak. Hasil analisis menunjukkan risiko dengan tingkat tertinggi adalah runtuhnya dinding lubang bor (R5) dengan skor 17,15. Tingginya risiko tersebut menunjukkan bahwa stabilitas lubang bor merupakan aspek paling kritis pada pelaksanaan *bored pile* di tanah *clay shale*. Selanjutnya risiko tertinggi diikuti oleh R4, R3, R1, dan R28. Kelima risiko tersebut menjadi fokus utama dalam penyusunan strategi mitigasi. Prioritas risiko disajikan pada Tabel 3.



Gambar 5. Pemetaan Risiko Pekerjaan Fondasi *Bored Pile* pada Tanah *Clay Shale*

Tabel 3. Prioritas Risiko

Kode	Risiko	P	I	Skor	Level
R5	Runtuhnya dinding lubang bor	3,50	4,90	17,15	Tinggi
R4	Ketidakstabilan lubang bor	3,50	4,70	16,45	Sedang
R3	<i>Clay shale</i> slaking	3,70	4,30	15,91	Sedang
R1	Degradasi kekuatan geser <i>clay shale</i>	3,70	3,90	14,43	Sedang
R28	Investigasi tanah tidak mempresentasikan <i>clay shale</i>	2,80	4,90	13,72	Sedang

Matriks Analisis Risiko			Tingkat Dampak				
			1	2	3	4	5
			Tidak signifikan	Minor	Moderat	Signifikan	Sangat signifikan
Tingkat Probabilitas	5	Hampir pasti terjadi					
	4	Sering terjadi				R1	R3
	3	Kadang terjadi					R28
	2	Jarang terjadi					
	1	Hampir tidak terjadi					

Gambar 6. Matriks Prioritas Risiko

Selanjutnya, hasil dari proritas risiko kemudian analisis ke dalam matriks analisis risiko yang digunakan untuk memetakan tingkat risiko berdasarkan dua parameter, yaitu probabilitas terjadinya risiko dan dampaknya pada matriks 5 x 5, sehingga kategorinya ditentukan oleh posisi risiko pada sel matriks. Sumbu vertikal menunjukkan tingkat probabilitas dan sumbu horizontal menunjukkan tingkat dampak. Semakin ke kanan dan ke atas, maka tingkat risiko semakin besar karena kemungkinan terjadinya tinggi dan dampaknya juga besar. Matriks prioritas risiko tertinggi dapat dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan matriks prioritas risiko, terlihat bahwa risiko-risiko dengan tingkat prioritas tertinggi didominasi oleh faktor geoteknik yang berkaitan dengan karakteristik tanah *clay shale*. Empat dari lima risiko prioritas tertinggi (R1, R3, R4, dan R5) berasal dari aspek geoteknik yang berkaitan langsung dengan karakteristik *clay shale*. Temuan ini menunjukkan bahwa sifat material *clay shale* merupakan faktor dominan yang memengaruhi tingkat risiko pekerjaan *bored pile*. Selain itu, risiko R28 menunjukkan bahwa kualitas investigasi tanah memiliki peran yang sangat penting dalam keberhasilan proyek. Risiko ini berbeda dengan risiko geoteknik lainnya karena muncul pada tahap perencanaan, namun memiliki dampak yang besar terhadap seluruh tahapan konstruksi. Ketidakhampuan

investigasi tanah dalam merepresentasikan kondisi *clay shale* yang sebenarnya dapat menyebabkan ketidaktepatan dalam desain fondasi, pemilihan metode pengeboran, maupun strategi pengendalian stabilitas lubang bor. Risiko prioritas tertinggi ini juga membentuk suatu rantai mekanisme kegagalan (*failure mechanism*), yaitu degradasi sifat *clay shale* (R1 dan R3) yang menyebabkan ketidakstabilan lubang bor (R4) dan akhirnya berpotensi menimbulkan keruntuhan dinding lubang bor (R5), sedangkan ketidakakuratan investigasi tanah (R28) dapat memperbesar peluang terjadinya seluruh rangkaian risiko tersebut.

Mitigasi Risiko

Mitigasi pada *clay shale* difokuskan pada pengendalian *slaking* dan degradasi kekuatan geser *clay shale* akibat paparan air dan udara yang dapat menyebabkan ketidakstabilan dan keruntuhan pada lubang bor (Arief et al., 2022). Pelaksanaan pengeboran harus cepat dan terkontrol dengan mengoptimalkan metode dan kecepatan pengeboran. Pengecoran beton maksimal 2–3 jam setelah pengeboran untuk mencegah tanah berubah menjadi bubur (*disintegrasi*) yang dapat mereduksi *skin friction* secara drastis. Stabilitas lubang dijaga menggunakan *temporary casing* atau *full casing*, serta diprioritaskan metode *dry drilling*. Mitigasi

investigasi tanah yang tidak mempresentasikan tanah *clay shale* adalah melakukan investigasi tambahan yang lebih spesifik terhadap sifat *slaking* dan degradasi material. Hal ini meliputi penambahan titik bor, pengambilan sampel yang lebih representatif, serta uji laboratorium seperti *slake durability index test*. Berdasarkan hasil uji *slake durability*, lapisan stabil berada di kedalaman >27 m, sehingga perhitungan *end bearing* harus mempertimbangkan degradasi kekuatan guna menjamin keamanan fondasi. Selanjutnya, parameter desain perlu diperbarui dengan pendekatan *residual strength*, penambahan *reduction factor*, serta penerapan metode yang lebih konservatif seperti *Aurora & Reese* guna mengakomodasi karakteristik *clay shale* (Long et al., 2019). Karena hal ini akan berdampak pada penyesuaian jumlah titik fondasi guna menjamin faktor keamanan yang memadai.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil identifikasi dan analisis risiko pekerjaan fondasi *bored pile* pada tanah *clay shale* di kawasan IKN, terdapat 31 risiko yang berpotensi mempengaruhi keberhasilan pelaksanaan pekerjaan. Prioritas risiko tertinggi yaitu, runtuhnya dinding lubang bor ketidakstabilan lubang bor, *clay shale* mengalami *slaking*, degradasi kekuatan geser *clay shale*, dan investigasi tanah tidak mempresentasikan *clay shale*. Keberhasilan fondasi *bored pile* pada tanah *clay shale* di kawasan IKN sangat bergantung pada pengendalian *slaking* dan degradasi tanah akibat air dan udara. Hal ini dilakukan melalui pembatasan waktu pengeboran (maksimal 2–3 jam), penggunaan *temporary/full casing*, serta pengecoran segera setelah pengeboran (*fast-track drilling*). Dari sisi desain, diperlukan pendekatan konservatif dengan mempertimbangkan *reduction factor* dan *residual strength*, serta evaluasi kedalaman fondasi agar tidak berada pada lapisan yang mudah terdegradasi. Secara keseluruhan,

kombinasi kontrol pelaksanaan, desain geoteknik yang tepat, dan pengujian yang ketat menjadi kunci untuk menjamin stabilitas, keamanan, dan kinerja fondasi jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Tarumanagara atas dukungan dan kesempatan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh responden, para ahli, serta pihak-pihak yang telah berpartisipasi dan memberikan kontribusi berharga dalam proses pengumpulan data, analisis, dan penyelesaian penelitian ini. Kontribusi yang diberikan sangat membantu dalam tercapainya tujuan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alatas, I.M. and Simatupang, P.T. (2017) Pengaruh Proses Pelapukan Clay Shale terhadap Perubahan Parameter Rasio Disintegritas (DR). *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 24, No. 1, pp. 77–82. Available at: <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.1.9>
- Andika, R. and Suhendra, A. (2023) Studi Analisis Fondasi Tiang pada Tanah Ekspansif di Daerah Cikarang dan Karawang. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, Vol. 6, No. 3, pp. 795–804. Available at: <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i3.24879>
- Andjani, N. M. A. J., Gamalia, A. N., Sarungallo, W. A., Rizka, H., Payung, F. R., Firliani, Z. R., Musda, G. H., Utari, P., Suhardi, C., Rodiah, F., Tamimi, N., & Mustakima, D. B. (2026). *Manajemen konstruksi*. Ocean Press Indonesia. <https://www.oceanpressindonesia.com/product/manajemen-konstruksi/> [Accessed 20 may 2026].
- Arief, R.B., Irsyam, M., Alatas, I.M., Krisnanto, S., Susila, E., Nawir, H. and Nazir, R. (2022). Effect of Clay Shale Shear Strength Degradation on Bored

- Pile Friction in Clay Shale. *Jurnal Teknologi*, 84(5), pp. 177–183. Available at: <https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v84.18220>
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *Manajemen risiko-Teknik penilaian risiko (SNI ISO 31010:2016)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/11081-sniisoiec310102016>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Manajemen risiko-Panduan implementasi SNI ISO 31000:2018 di sektor publik (SNI 8848:2019)*. Badan Standardisasi Nasional. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/12655-sni88482019>.
- Botts, M. E. (1986) *The Effects of Slaking on the Engineering Behavior of Clay Shales*. Ph.D Thesis, University of Colorado, Boulder. Available at: <https://id.scribd.com/document/695260565/Penanganan-Clay-Shale-Final>. [diakses 25/04/2026].
- Das, B. M. (2011) *Principles of Foundation Engineering* (7th ed.). Stamford, CT: Cengage Learning. [Online]. Available at: <https://id.scribd.com/document/14136214/Effects-of-Slaking-on-the-Engineering-Behavior-of-Clay-Shales> <https://www.directtextbook.com/isbn/9781111787097-principles-of-foundation-engineering>. [Accessed 25 may 2026].
- Karaaslaner, U., Arslan, E. and Sert, S. (2025). Challenges Encountered in Bored Pile Construction in Soft and Loose Soils. *21th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering, Architecture and Mathematical Sciences*. In: *Congress Proceedings Book*, (2025). Istanbul. pp. 269–285. Available at: <https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8566-2-0.2025.6310>.
- Long, S., Iskandar, A. and Leman, S. (2019). Analisis daya dukung tiang bor aksial, lateral, dan penurunan pada tanah clay shale di Sentul, Bogor, *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), pp. 125–134. [diakses 24/06/2026].
- Mata, P., Silva, P.F. and Pinho, F.F.S. (2021) Risk Management of Bored Piling Construction on Sandy Soils with Real-Time Cost Control. *Infrastructures*, Vol. 6, No. 77. Available at: <https://doi.org/10.3390/infrastructures6050077>
- Negara, D. S. (2023) *Penanganan Clay Shale* [Slide Presentasi]. PT Brantas Abipraya (Persero). Available at: <https://id.scribd.com/document/695260565/Penanganan-Clay-Shale-Final>. [diakses 25/04/2026].
- Panjaitan, M. and Syahrul. (2023). The Behavior of the Clay Shale on Slope Stability at the Nation's Capital (IKN) Sepaku. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 20(4), pp. 10–17. Available at: <https://doi.org/10.9790/1684-2004031017>
- Project Management Institute. (2017) *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* (6th ed.). Newtown Square, PA: Project Management Institute. [Online]. Available at: https://prothoughts.co.in/wp-content/uploads/2025/08/PMBOK_6th-Edition.pdf [Accessed 25/04/2026].
- Surya, I.A., Purwanantha, I.J. and Setiyadi, R. (2025). Analisa Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor pada Tanah Bermasalah (Difficult Soil). *TECHNOPEX 2025*. In: *Prosiding TECHNOPEX 2025 Institut Teknologi Indonesia*. Tangerang Selatan: Institut Teknologi Indonesia. pp. 642–647 Available at: <https://semnas.iti.ac.id/tpx/index.php/c/article/download/308/102>

United Nations in Indonesia (2023) *Sustainable Development Goals*. <https://indonesia.un.org/en/sdgs> [diakses 10/06/2026].

Widianti, A., Hartono, E., Muntohar, A. S. and Wardani, S. P. R. (2017) *Karakterisasi*

Tanah Clay Shale Ungaran–Bawen. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. [Online]. Available at: <https://repository.umy.ac.id/handle/123456789/14239> [diakses 25/04/2026].