

TESIS

**ANALISIS PROBABILITAS KEGAGALAN FONDASI
BORED PILE BERDASARKAN DATA *STANDARD
PENETRATION TEST* MENGGUNAKAN METODE
MONTE CARLO**



ANASTASIA DAYINTA ADELLA

NPM. 215118888

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2026**

ABSTRAK

Pondasi bored pile merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang banyak digunakan pada konstruksi bangunan bertingkat dan struktur berat, terutama pada kondisi tanah dengan daya dukung lapisan permukaan yang rendah. Perencanaan pondasi bored pile pada umumnya masih didominasi oleh pendekatan deterministik dengan penggunaan faktor keamanan sebagai indikator utama, meskipun pendekatan tersebut belum mampu merepresentasikan ketidakpastian dan variabilitas sifat tanah secara menyeluruh. Nilai Standard Penetration Test (SPT) yang digunakan sebagai dasar perhitungan kapasitas daya dukung memiliki sifat acak dan bervariasi secara spasial, sehingga berpotensi memengaruhi tingkat keandalan pondasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis probabilitas kegagalan pondasi bored pile berdasarkan data SPT dengan menggunakan pendekatan probabilistik melalui simulasi Monte Carlo. Data SPT diperoleh dari dua titik penyelidikan tanah pada kedalaman 16 m, 18 m, 20 m, 22 m, dan 24 m di wilayah Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Kapasitas daya dukung pondasi dihitung secara deterministik menggunakan metode Meyerhof, kemudian dianalisis secara probabilistik dengan memodelkan variasi nilai SPT sebagai variabel acak untuk memperoleh distribusi kapasitas tahanan dan beban. Probabilitas kegagalan (P_f) ditentukan berdasarkan fungsi batas kegagalan, sedangkan tingkat keandalan pondasi dinyatakan dalam bentuk indeks keandalan (β).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun nilai faktor keamanan deterministik memenuhi kriteria desain, pondasi bored pile masih memiliki probabilitas kegagalan pada rentang tertentu akibat variabilitas parameter tanah. Nilai probabilitas kegagalan yang diperoleh berada pada kisaran 0,08–0,12 dengan indeks keandalan antara 1,0–1,2, yang menunjukkan kondisi keandalan marginal. Hubungan antara faktor keamanan deterministik, probabilitas kegagalan, dan indeks keandalan memperlihatkan bahwa peningkatan faktor keamanan tidak selalu diikuti oleh penurunan risiko kegagalan secara signifikan. Oleh karena itu, pendekatan probabilistik dinilai lebih mampu memberikan gambaran risiko dan keandalan pondasi secara kuantitatif dibandingkan pendekatan deterministik. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam penerapan desain pondasi bored pile berbasis keandalan untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi perencanaan geoteknik.

Kata Kunci : *Bored Pile*, Indeks Keandalan, Probabilitas Kegagalan, Simulasi Monte Carlo, *Standard Penetration Test* (SPT).

ABSTRACT

Bored pile foundations are widely used in high-rise buildings and heavy structures, particularly in areas with weak surface soil conditions. In practice, the design of bored pile foundations is commonly based on deterministic approaches using a safety factor as the primary indicator of structural safety. However, this approach is not sufficient to explicitly represent the inherent uncertainty and spatial variability of soil properties. Standard Penetration Test (SPT) values, which are frequently used in bearing capacity calculations, exhibit random behavior and significant variability, potentially affecting the reliability of foundation performance.

This study aims to analyze the probability of failure of bored pile foundations based on SPT data using a probabilistic approach through Monte Carlo simulation. SPT data were obtained from two borehole locations at depths of 16 m, 18 m, 20 m, 22 m, and 24 m in Sleman Regency, Special Region of Yogyakarta. The bearing capacity of bored piles was first calculated deterministically using the Meyerhof method. Subsequently, a probabilistic analysis was conducted by modeling SPT values as random variables to generate distributions of resistance and applied load. The probability of failure (P_f) was evaluated using a limit state function, while the foundation reliability was quantified using the reliability index (β).

The results indicate that although the deterministic safety factor satisfies conventional design criteria, bored pile foundations still exhibit a non-negligible probability of failure due to soil variability. The calculated probability of failure ranges from 0.08 to 0.12, with reliability index values between 1.0 and 1.2, indicating a marginal reliability condition. The relationship between the deterministic safety factor, probability of failure, and reliability index demonstrates that an increase in safety factor does not necessarily correspond to a significant reduction in failure risk. Therefore, probabilistic analysis provides a more realistic and quantitative assessment of foundation reliability compared to deterministic methods. This study highlights the importance of incorporating reliability-based design approaches in bored pile foundation engineering to enhance structural safety and design efficiency.

Keywords : Bored Pile, Reliability Index, Probability of Failure, Monte Carlo Simulation, Standard Penetration Test (SPT).

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Anastasia Dayinta Adella
Nomor Mahasiswa : 215118888/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Analisis Probabilitas Kegagalan Fondasi *Bored Pile*
Berdasarkan Data *Standard Penetration Test*
Menggunakan Metode Monte Carlo

Dengan ini menyatakan bahwa tesis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar magister di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya dalam tesis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 27 Januari 2026



Anastasia Dayinta Adella



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PERSETUJUAN TESIS

Nama : Anastasia Dayinta Adella
Nomor Mahasiswa : 215118888/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Analisis Probabilitas Kegagalan Fondasi *Bored Pile*
Berdasarkan Data *Standard Penetration Test*
Menggunakan Metode Monte Carlo

Dosen Pembimbing

Tanggal

Tanda Tangan

1. Dr.Ir. Sumiyati Gunawan, S.T., M.T.

28/01/26



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : Anastasia Dayinta Adella
Nomor Mahasiswa : 215118888/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Analisis Probabilitas Kegagalan Fondasi *Bored Pile*
Berdasarkan Data *Standard Penetration Test*
Menggunakan Metode Monte Carlo

Dosen Penguji	Tanggal	Tanda Tangan
1. Dr.Eng. Ir. Luky Handoko, S.T., M.Eng., IPM.	28 Januari 2026	
2. Ir. Vienti Hadsari, S.T., M.Eng., MECRES., Ph.D.	28 Januari 2026	
3. Dr.Ir. Sumiyati Gunawan, S.T., M.T.	28 Januari 2026	

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil



Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penyusunan Tesis dapat terselesaikan dengan baik. Tesis dengan judul “ Analisis Probabilitas Kegagalan Pondasi *Bored Pile* Berdasarkan Data *Standard Penetration Test* Menggunakan Metode Monte Carlo” ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Magister Teknik.

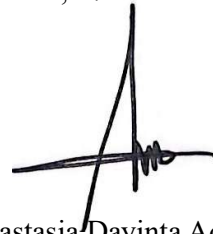
Penulis menyadari bahwa penulisan Tesis ini dapat terselesaikan berkat dukungan, bantuan, bimbingan, dan arahan dari semua pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini perkenankanlah penulis menghaturkan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sedalam-dalamnya kepada Ibu Dr.Ir. Sumiyati Gunawan, S.T., M.T., selaku pembimbing yang telah banyak membantu, mengarahkan, dan membimbing sampai Tesis ini terwujud. Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. G. Sri Nurhartanto, S.H., LL.M., selaku Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk dapat melanjutkan Pendidikan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., IPU, ASEAN Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah memberikan persetujuan Penelitian Tesis.

3. Ibu Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi S-2 Teknik Sipil beserta dosen dan staf yang telah memberikan bantuan dan fasilitas selama proses penyusunan proposal sampai terselesainya Tesis ini.
4. Penguji Dr. Eng. Ir. Luky Handoko, S.T., M.Eng. dan Ir. Vienti Hadsari, S.T., M.Eng., MECRES., Ph.D., yang sudah memberikan koreksi perbaikan secara komprehensif terhadap Tesis ini.
5. Orang tua saya, Bapak Ignatius Dadang Vega Sagita, Ibu Anastasia Yuli Andini, yang selalu memberikan semangat, doa dan dorongan dalam penyelesaian Tesis ini.
6. Om dan Tante saya, Bapak Surya Wahyudi dan Ibu Flaviana Stovia Vera Siaffino yang telah memberikan suport baik secara moral dan moril selama menyelesaikan Tesis ini.
7. Saudara saya, Anastasia Lyra Volans Carina dan Anastasia Aurista Chievo Verona yang telah memberikan dukungan, semangat untuk menyelesaikan Tesis ini.
8. Semua pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas bantuan dan perhatiannya selama selama penyusunan Tesis ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan dari semua pihak di atas menjadi amal yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Tuhan Yang Maha Esa. Penulis berharap Tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca atau pihak yang membutuhkannya.

Yogyakarta, 27 Januari 2026

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'A' followed by a horizontal line and a small flourish.

Anastasia Dayinta Adella

NPM 215118888

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTACT.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu.....	5
BAB III LANDASAN TEORI.....	11
3.1 Pondasi Bored pile	11
3.2 Standard Penetration Test (SPT)	12
3.3 Karakteristik Ketidakpastiaan dalam Rekayasa Geoteknik	12
3.4 Keterbatasan Deterministik	14
3.5 Analisis Probabilistik	15

3.5.1 Nilai rata-rata (mean or expected value)	17
3.5.2 Varians dan deviasi standar.....	17
3.5.3 Konsep Dasar dan Penentuan Reliabilitas Struktur	21
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....	25
4.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian.....	25
4.2 Lokasi dan Sumber Data	26
4.3 Output Penelitian.....	27
4.3.1 Analisis Statistik Nilai SPT	27
4.3.2 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Pondasi <i>Bored pile</i>	28
4.3.3 Model Probabilistik Kegagalan Pondasi.....	28
4.3.4 Nilai Probabilitas Kegagalan (Pf).....	28
4.3.5 Indeks Keandalan (β).....	28
4.3.6 Kesimpulan dan Rekomendasi Teknik	29
4.4 Tahapan Penelitian	29
4.4.1 Pengumpulan dan Analisis Data Uji SPT	29
4.4.2 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Ultimit dan Kapasitas Daya Dukung Izin	31
4.4.3 Analisis Probabilitas Kegagalan (<i>Probability of Failure</i>)	32
4.4.4 Analisis Indeks Keandalan	33
4.4.5 Simulasi Metode <i>Monte Carlo</i>	34
4.4.6 Interpretasi Hasil.....	35
4.4.7 Penyusunan Kesimpulan dan Rekomendasi	35
BAB V PEMBAHASAN	36
5.1 Umum.....	36

5.2	Nilai SPT dan Karakteristik Tanah.....	37
5.3	Kapasitas Daya Dukung Deterministik.....	39
5.4	Analisis Probabilistik Menggunakan Metode <i>Monte Carlo</i>	41
5.5	Probabilitas Kegagalan (P_f) dan Nilai Indeks Kegagalan Nilai indeks keandalan (β)	43
5.6	Hubungan Faktor Keamanan Deterministik dan Probabilitas Kegagalan (P_f).....	46
5.7	Hubungan Faktor Keamanan Deterministik dan Indeks Keandalan ..	50
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		55
6.1	Kesimpulan.....	55
6.2	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....		58

DAFTAR TABEL

Tabel 5. 1 Data SPT 1	38
Tabel 5. 2 Data SPT 2	38
Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Metode <i>Meyerhof</i>	40
Tabel 5. 4 Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Metode <i>Meyerhof</i>	40
Tabel 5. 5 Hasil Simulasi <i>Monte Carlo</i>	42
Tabel 5. 6 Hasil Pehitungan dari Data SPT 1	45
Tabel 5. 7 Hasil Pehitungan dari Data SPT 2	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Contoh bentuk fungsi probabilitas.....	19
Gambar 3. 2 Konsep dasar reliabilitas struktur	21
Gambar 4. 1 Data Pengujian <i>Standard Penetration Test</i> (SPT).....	26
Gambar 4. 2 Data Pengujian <i>Standard Penetration Test</i> (SPT).....	27
Gambar 5. 1 Grafik Nilai SPT	38
Gambar 5. 2 Pondasi <i>Bored Pile</i>	44
Gambar 5. 3 Faktor keamanan (SF) dan Probabilitas kegagalan (Pf)	47
Gambar 5. 4 Faktor keamanan (SF) dan Nilai reliabilitas (R).....	48
Gambar 5. 5 Reliabilitas (R) dan Probabilitas Kegagalan (Pf).....	49
Gambar 5. 6 Faktor keamanan (SF) dan Indeks keandalan (β)	51
Gambar 5. 7 Indeks keandalan (β) dan Reliabilitas (R)	52
Gambar 5. 8 Indeks Keandalan (β) dan Probabilitas Kegagalan (Pf).....	53