

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Silveria. dkk, (2024), mengkaji pengaruh fluktuasi musiman muka air tanah terhadap kapasitas daya dukung pondasi tiang, termasuk *bored pile*, dengan menggunakan pendekatan probabilistik berbasis CPT data. Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan kondisi hidrologi, seperti kenaikan muka air tanah pada musim hujan, dapat menurunkan kapasitas daya dukung pondasi akibat meningkatnya kejenuhan tanah dan menurunnya tahanan ujung maupun gesekan selimut. *First Order Reliability Method* (FORM) digunakan dalam penelitian ini dan ditemukan bahwa indeks reliabilitas pondasi mengalami penurunan signifikan pada kondisi jenuh mencapai 20%–30% dibandingkan kondisi kering. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketidakpastian parameter geoteknik tidak dapat diabaikan dalam proses perancangan pondasi, dan penerapan metode probabilistik seperti simulasi *monte carlo* mampu memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai tingkat reliabilitas sistem pondasi dibandingkan metode deterministik tradisional.

Krisnanto. dkk, (2024) memberikan pemahaman terhadap variabilitas parameter tanah merupakan aspek penting dalam perancangan geoteknik, terutama pada sistem pondasi tiang. Penelitian yang dilakukan untuk menentukan hubungan antara probabilitas kegagalan dan faktor keamanan pada berbagai jenis pondasi tiang, meliputi tiang pancang di tanah pasir dan lanau serta tiang bor di tanah pasir.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan berkisar antara 1,14 hingga 2,17, bergantung pada jenis tanah dan metode pemasangan tiang. Penelitian ini memberikan gambaran bahwa analisis daya dukung tanah sangat diperlukan untuk mendukung penerapan metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dalam perancangan pondasi yang lebih andal, efisien, dan memenuhi standar keselamatan rekayasa pondasi.

Lamouri. dkk, (2024) menekankan penerapan metode *monte carlo* dalam analisis keandalan struktur untuk mengidentifikasi tingkat ketidakpastian dan probabilitas kegagalan elemen beton bertulang. Pendekatan ini dapat diaplikasikan pada analisis pondasi *bored pile*. Pondasi tersebut memiliki variabilitas tinggi pada parameter tanah seperti nilai N-SPT, kekuatan geser yang dapat memengaruhi daya dukung aksial maupun lateral. Metode ini memungkinkan perancang untuk menilai risiko kegagalan pondasi secara lebih akurat, menetapkan faktor keamanan yang sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan, serta mendukung penerapan sistem *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dalam desain pondasi yang berbasis pada analisis probabilistik dan keselamatan struktur yang lebih komprehensif.

Kapasitas dukung aksial tiang bor dapat dianalisis menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) serta pengujian lapangan melalui *Static Loading Test* (SLT). Metode Kulhawy, (1984) dan Reese & Wright, (1977) digunakan untuk menentukan nilai tahanan ujung dan gesekan selimut pada tiang bor berdiameter 0,8 m dengan kedalaman 26 m. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas ultimit tiang bor masing-masing sebesar 565,577 ton dan 570,588 ton, sedangkan hasil uji

SLT mencapai 590 ton dengan selisih 3–4%. Rahman. dkk, (2025) melalui penelitian ini menunjukkan bahwa metode (Reese & Wright, 1977) memberikan hasil paling representatif terhadap kondisi aktual, serta kombinasi analisis SPT dan uji SLT dapat ditinjau mengevaluasi kapasitas dukung pondasi tiang bor pada tanah lempung.

Tanah sebagai material alam memiliki karakteristik yang sangat bervariasi secara spasial, baik secara horizontal maupun vertikal, sehingga nilai parameter tanah seperti kuat geser, modulus elastisitas, dan kapasitas dukung tidak dapat dinyatakan secara deterministik tunggal. Ketidakpastian ini timbul dari sifat heterogenitas alami tanah serta keterbatasan dalam metode investigasi dan pengujian lapangan (Phoon dan Kulhawy, 1999).

Metode probabilistik dalam desain struktur dengan penekanan pada penggunaan simulasi *monte carlo* berguna untuk menganalisis ketidakpastian dan probabilitas kegagalan sistem. metode *monte carlo* dapat menghasilkan ribuan variabel acak berdasarkan distribusi probabilitas input seperti beban, kekakuan, dan sifat material guna mengevaluasi kemungkinan pelanggaran kondisi batas (*Limit State*). Pendekatan ini memungkinkan analisis pengaruh variasi alami tanah dan parameter desain terhadap probabilitas kegagalan fondasi. (Choi et al., 2007)

Metode simulasi *monte carlo* merupakan salah satu teknik probabilistik yang secara luas digunakan dalam rekayasa geoteknik untuk memperkirakan distribusi respons struktur terhadap ketidakpastian. Prosedur ini melibatkan proses sampling acak dari distribusi parameter tanah untuk menghasilkan banyak variasi kondisi desain, sehingga probabilitas kegagalan dapat dihitung berdasarkan

frekuensi kejadian kegagalan dalam simulasi. Jumlah iterasi yang memadai, metode *monte carlo* mampu memberikan hasil estimasi probabilistik yang lebih akurat dibandingkan pendekatan deterministik, khususnya pada sistem yang kompleks dan non-linear (Ditlevsen dan Madsen, 1996).

Penerapan simulasi *monte carlo* untuk menganalisis ketidakpastian parameter pada prediksi perilaku penurunan tiang *bored pile*. Simulasi *monte carlo* digunakan sebagai metode untuk mengukur variasi sifat tanah, geometri tiang, dan kondisi pembebanan sehingga menghasilkan distribusi probabilistik kurva beban-penurunan dengan interval kepercayaan 95%. Pendekatan ini memungkinkan dinilainya pengaruh variasi alami dan kesalahan pengukuran terhadap respon pondasi secara aktual. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Mahmoud El Gendy, (2025) menunjukkan bahwa integrasi simulasi *monte carlo* dengan model *Gaussian Process Regression* (GPR) memberikan hasil yang akurat dan ketidakpastian yang terukur, sehingga meningkatkan keandalan dan efisiensi perancangan geoteknik.

E. Ushakova, (2023) melakukan penelitian pengembangan metodologi analisis keandalan pondasi tiang dengan mempertimbangkan ketidakpastian dan faktor parsial yang memengaruhi daya dukung struktur. Penelitian tersebut memberikan kesimpulan bahwa pendekatan deterministik dalam perancangan pondasi sering kali tidak mampu mewakili secara akurat variabilitas kondisi geoteknik di lapangan karena keterbatasan asumsi matematis dan model analitis. Peneliti menggunakan metode *monte carlo* dan jaringan saraf *evolusioner* (*Evolutionary Neural Network/ENN*) untuk menghasilkan algoritma yang dapat

memperhitungkan ketidakpastian fisik, statistik, serta ketidakpastian model dalam analisis keandalan pondasi tiang.

Kusumawardana dan Fajarwati, (2025) melakukan analisa kapasitas dukung pondasi tiang *bored pile* pada kondisi lapangan yang tidak mencapai kedalaman sesuai desain awal serta menentukan kebutuhan tambahan jumlah tiang untuk mencapai daya dukung yang direncanakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas dukung pondasi tiang *bored pile* berbeda pada setiap metode, dengan nilai sebesar 500,28 KN untuk metode *Reese & Wright*, 2.424,87 KN untuk metode *O'Neil & Reese*, dan 1.778,23 KN untuk metode *Converse-Labarre*. Penambahan tujuh titik tiang bor, dari 38 menjadi 45 titik, meningkatkan total kapasitas dukung dari 2.402,33 KN menjadi 3.437,81 KN, sehingga memenuhi kebutuhan daya dukung struktur. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa variasi kedalaman pondasi dan mutu beton berpengaruh signifikan terhadap daya dukung tiang *bored pile*, serta bahwa analisis berbasis data SPT dapat dijadikan metode yang efektif dalam mengevaluasi keandalan dan efisiensi desain pondasi pada kondisi lapangan aktual.

Penelitian ini merujuk pada konsep variabilitas parameter tanah dalam rekayasa geoteknik yang menyatakan bahwa sifat tanah, termasuk nilai *Standard Penetration Test* (SPT), bersifat tidak pasti dan bervariasi secara spasial akibat heterogenitas alami tanah serta keterbatasan metode investigasi lapangan. Penelitian ini mengacu pada metode perhitungan kapasitas dukung pondasi *bored pile* berbasis data SPT yang telah dikembangkan dan divalidasi melalui penelitian terdahulu, serta pada pendekatan probabilistik menggunakan simulasi *monte carlo* untuk mengevaluasi probabilitas kegagalan dan tingkat keandalan pondasi.

Pendekatan tersebut digunakan untuk menangkap pengaruh variasi nilai SPT pada beberapa kedalaman tanah terhadap kapasitas dukung, probabilitas kegagalan, dan indeks keandalan pondasi *bored pile* secara lebih realistis dibandingkan pendekatan deterministik.

