Pemodelan Menggunakan *Software* Plaxis Untuk Simulasi Daya Dukung Fondasi *Bored Pile*

Nur Syintyiah Rachmah[1] , Arik Triarso[2]

[1] Mahasiswi D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya.
[2] Dosen D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya.
Email : nsyintyiahrachmah@gmail.com

Abstrak

Fondasi tiang bor atau *bored pile digunakan untuk menopang struktur bangunan dengan cara mengebor lubang ke dalam tanah dan mengisinya dengan besi tulangan dan beton. Evaluasi terhadap kapasitas daya dukung fondasi bored pile merupakan hal yang penting dalam proses desain dan konstruksi, untuk memastikan bahwa fondasi dapat memikul beban struktur yang akan ditempatkan di atasnya. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan menggunakan software Plaxis 2D untuk simulasi daya dukung fondasi bored pile, metode Luciano Decourt, dan metode Reese and Wright untuk mengetahui perbandingan nilai daya dukung maksimum. Penelitian ini menggunakan data SPT dalam penentuan daya dukung fondasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai daya dukung yang diperoleh dengan metode Reese and Wright lebih mendekati dengan hasil daya dukung menggunakan Plaxis 2D. Dari hasil perhitungan ketiga metode, didapatkan selisih nilai Qult antara metode Plaxis 2D dengan metode Luciano Decourt sebesar -469,73 kN atau -32,8% untuk data 1, -666,56 kN atau -36,7% untuk data 2, dan -407,24 kN atau -12,1% untuk data 3. Sedangkan untuk selisih antara metode Plaxis 2D dengan metode Reese and Wright diperoleh hasil sebesar 0,63 kN atau 0,1% untuk data 1, 78,58 kN atau 7,3% untuk data 2, dan -80,64 kN atau -2,7% untuk data 3.*

Kata Kunci: *Pemodelan Plaxis 2D, Fondasi Bored Pile, Qult, Metode Luciano Decourt, Metode Reese and Wright.*

Abstract

The foundation of a drill pile or bored pile is used to support a building structure by drilling a hole into the ground and filling it with steel reinforcement and concrete. Evaluation of the strength of the supporting capacity of a bored pile foundation is important in the design and construction process, to ensure that the foundation can bear the load of the structure to be placed on it. The study used the Plaxis 2D software to simulate the support strength of the bored pile foundation, the Luciano Decourt method, and the Reese and Wright method to determine the comparison of the maximum support strength values. The results of this study show that the support power value obtained with the Reese and Wright method is closer to the support force result using the 2D Plaxis. From the third method calculations, the Qult value difference between the Plaxis 2D method and the Luciano Decourt method is -469.73 kN or -32.8% for data 1, -666.56 kN, or -36.7% for data 2, and -407.24 kN and -12.1% for data 3. For the differential between the Plaxis 2D method and the Reese and Wright method, the result was 0.63 kN or 0.1% for data 1, 78,58 kN, or 7.3% for data 2, and -80,64 kN (or -2.7% for data 3).

Keywords:*2D Plaxis Modeling, Bored Pile Foundation, Qult, Luciano Decourt Method, Reese and Wright Method.*

PENDAHULUAN

Fondasi adalah bagian dari sistem rekayasa yang berperan penting dalam menyalurkan beban yang dipikulnya dan beratnya sendiri ke dan ke dalam tanah serta batuan di bawahnya (Bowles, 1982). Secara umum fondasi terbagi menjadi dua, yakni fondasi dangkal dan fondasi dalam. Salah satu fondasi dalam ialah fondasi *bored pile.* Dimana untuk mendukung struktur bangunan, fondasi ini dibuat dengan cara pengeboran lubang di tanah dan mengisinya dengan besi tulangan serta cor beton.

Evaluasi terhadap kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* merupakan hal yang penting dalam proses desain dan konstruksi fondasi. Agar beban struktur yang akan ditempatkan di atasnya mampu ditahan oleh fondasi tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan pendekatan sedekat mungkin dengan yang ada di lapangan.

Pendekatan dapat dilakukan salah satunya dengan menggunakan *software* plaxis 2D, *software* ini memungkinkan pemodelan 2D pada proyek geoteknik (Bentley, 2023). Dilakukannya simulasi kondisi di lapangan dalam *software* plaxis ini tidak lain adalah untuk menerapkan fase konstruksi yang terjadi di lapangan dalam fase konstruksi pada plaxis. Hal ini dilakukan agar pemodelan dapat mendekati kondisi sebenarnya seperti yang ada di lapangan. Selain untuk mendapatkan pendekatan dari kondisi lapangan, pemodelan menggunakan *software* plaxis juga dapat digunakan untuk mendapatkan nilai daya dukung yang lebih akurat dalam perencanaan sistem fondasi (Simamora & Ahmad Rifai, 2019).

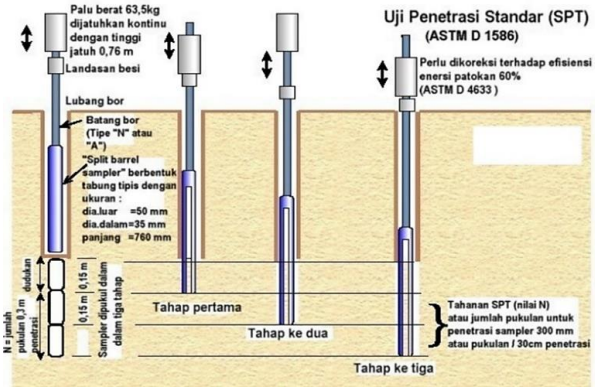
Selain menggunakan *software* plaxis untuk mendapatkan nilai daya dukung fondasi, diperlukan studi lanjut atau kajian terhadap hasil perhitungan menggunakan *software* plaxis dengan metode manual analitis yang sudah ada sebelumnya dan selama ini masih digunakan dalam memperhitungkan daya dukung fondasi *bored pile.* Dalam perhitungannya diperlukan data *soil investigation*, salah satunya adalah data hasil SPT.

Penyelidikan Tanah

Dalam perancangan fondasi dibutuhkan data *soil investigation* atau penyelidikan tanah di lapangan. Parameter tanah serta gambaran dari kondisi lapisan tanah di lapangan didapatkan melalui penyelidikan ini. Maka dari itu, sangat penting untuk menentukan jenis serta lokasi titik – titik pengujian tanah di lapangan. Untuk pengambilan *coring*, sampel tanah tak terganggu (UDS) dan pelaksanaan uji penetrasi standar (SPT), digunakan uji sondir mekanik dan pemboran teknik sebagai penyelidikan tanah di lapangan yang umum dilakukan. Selain itu juga diperlukan pengamatan untuk mengetahui kedalaman muka air tanah pada setiap lubang bor (Jenderal Bina Marga, 2016).

***Standard Penetration Test* (SPT)**

Uji penetrasi standar adalah proses pengujian di dasar lubang bor dimana contoh tabung digerakkan pada jarak tertentu (0,30 m) setelah interval awal (0,15 m) menggunakan palu seberat ± 140 pon gaya (lbf) (623 N) yang dijatuhkan (0,76 m) untuk setiap pukulan palu (ASTM, 2014). Untuk menentukan sifat deformasi tanah berbutir kasar, kekuatan tanah, serta mendapatkan informasi berharga untuk jenis tanah lainnya dapat diperoleh melalui uji SPT (BSN, 2017).



Gambar 1. Skema Uji Penetrasi Standar (SPT) (Sumber: *SNI4153:2018)*

Koreksi N-SPT

Koreksi N-SPT dilakukan berdasarkan beberapa hal yang ditinjau, diantaranya adalah koreksi N-SPT terhadap muka air tanah. Menurut Wahyudi, 1999 dalam (Ramadhan et al., 2022), koreksi N-SPT wajib dilakukan terhadap N-SPT di bawah muka air tanah dengan nilai N-SPT kurang dari 15.

Berdasarkan perumusan (Terzaghi et al., 1996):

$N' = 15 + 0{,}5 \cdot (N - 15)$ .....[1]

dimana:

N = N-SPT lapangan (jumlah pukulan asli di lapangan)

N' = Nilai N-SPT terkoreksi.

Analisis *Luciano Decourt* (1982)

Metode ini dapat digunakan dalam menganalisis pada jenis tanah apapun, merupakan penyempurnaan dari metode yang sudah ada sebelumnya, yaitu metode *Mayerhoff*, hasil yang didapat menggunakan metode ini sudah lebih presisi dari yang sebelumnya (Fahmi, 2022).

Daya dukung fondasi tiang bor dapat dihitung dengan menggunakan metode *Luciano Decourt* (1982), berdasarkan daya dukung dasar (Qp) dan daya dukung selimut tiang (Qs) sebagai berikut (Rohani N, 2023).

- Daya dukung dasar tiang *(end bearing)*

  $Qp = \alpha \times Ap \times Np \times K$ .....[2]

  Keterangan:

  Qp : Daya dukung tiang maksimum (ton)

α : Koefisien dasar tiang
Ap : Luas penampang dasar tiang (m^2)
Np : Rata-rata N-SPT 4D di bawah dasar tiang hingga 4D di atas dasar tiang
K : Koefisien dari jenis tanah (t/m2).

- Daya dukung selimut tiang bor *(skin friction)*

$Qs = \beta \times As \times \left(\frac{N_s}{3} + 1\right)$ .....[3]

Keterangan:
Qs : Daya dukung selimut tiang (ton)
β : Koefisien selimut tiang
As : Luas selimut tiang sepanjang tiang tertanam (m^2)
Ns : Rata – rata nilai Nspt sepanjang tiang

Analisis *Reese and Wright* (1977)

Metode *Reese and Wright* cocok digunakan pada jenis tanah lempung berbatu, dimana jenis tanah ini serupa dengan karakteristik tanah yang ada pada lokasi pekerjaan konstruksi. Metode ini dalam perhitungan kapasitas dukungnya memperhitungkan daya dukung dasar (Qp) dan daya dukung selimut tiang (Qs) (Rohani N, 2023).

- Daya dukung dasar tiang *(end bearing)*

$Q_p = A_p \cdot q_p$ .....[4]

Keterangan:
Q_p = Daya dukung *ultimate* dasar tiang (ton)
A_P = Luas penampang fondasi tiang bor (m^2)
q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton/m^2)

- Untuk tanah kohesif (Fahmi, 2022):

$q_p = 9 \cdot C_u$ .....[5]

dimana :
C_u = Kohesi tanah (ton/m^2)
$= \frac{2}{3} \cdot$ Nspt
Keterangan:
Nspt = Nilai Nspt pada elevasi dasar tiang

- Untuk tanah non kohesif (Tobing, 2019):

Untuk N ≤ 60 maka q_p = 7 N (ton/m^2) < 400 (ton m^2)
Untuk N > 60 maka q_p = 400 (ton/m^2)

- Daya dukung selimut fondasi *bored pile (skin friction)* (Fahmi, 2022).

$Qs = f_s \cdot L \cdot P$ .....[6]

Dimana :
Q_s = Daya dukung *ultimate* selimut tiang (ton)
f_s = Gesekan selimut tiang persatuan luas (α x Cu) (ton/m^2)
L = Tebal lapisan tanah yang begesekan (m)
P = Keliling penampang tiang (m)

Apabila fondasi tiang bor berada pada tanah berlapis, maka persamaan di atas dapat divariasi seperti persamaan di bawah ini:

$Qs = \sum f_s \cdot L \cdot P$ .....[7]

Parameter kuat geser dan jenis tanah mempengaruhi gesekan selimut tiang persatuan luas (Fahmi, 2022).

Pada tanah berkohesi:

$fs = (\alpha \cdot Cu)$ .....[8]

Keterangan:
α = Faktor adhesi = 0,55 (berdasarkan penelitian *Reese and Wright* (1977)
Cu = Kohesi tanah (ton/m^2)

Pada tanah *non* kohesi:

Dimana:
f_s = 0,32 N-spt (ton/m^2), jika N < 53
tahanan geser diperoleh dari korelasi langsung menggunakan N-SPT dan dihasilkan f, jika 53 < N < 100 *(Reese & Wright,*1977*).*

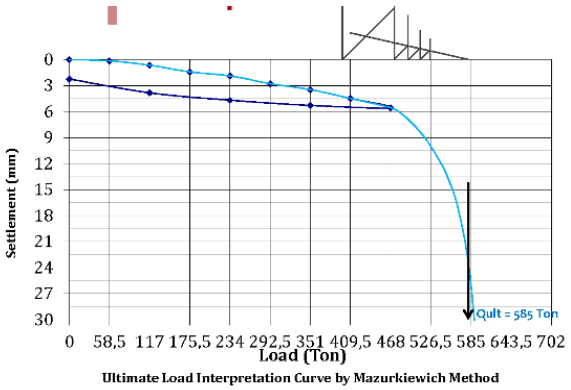
Daya Dukung *Ultimate* Fondasi *Bored Pile*

Kombinasi antara gesekan yang terjadi pada selimut tiang serta tahanan pada dasar tiang fondasi *bored pile*, menghasilkan *ultimate bearing capacity* atau daya dukung maksimum (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017). Sebagaimana formula umum dapat dinyatakan pada persamaan berikut ini.

Qult = Qp + Qs .....[9]

Keterangan:
Qult : Kapasitas dukung *ultimate* tiang (ton)
Qp : Daya dukung dasar tiang (ton)
Qs : Daya dukung selimut tiang (ton)

Daya dukung maksimum *(ultimate bearing capacity)* tidak hanya diperoleh dari kemampuan menerima bebannya saja, namun penurunan yang terjadi juga harus diperhatikan. Dalam SNI 8460:2017 disebutkan bahwa terdapat batasan deformasi saat pembebanan aksial tekan pada fondasi tiang, dimana pada tiang dengan diameter ≤ 80 cm memiliki batasan deformasi sebesar 25 mm atau 2,5 cm saat dilakukan pengujian pembebanan rencana (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017).



Gambar 2. Kurva Interpretasi Beban Ultimit
(Sumber: *Kawanda, 2021)*

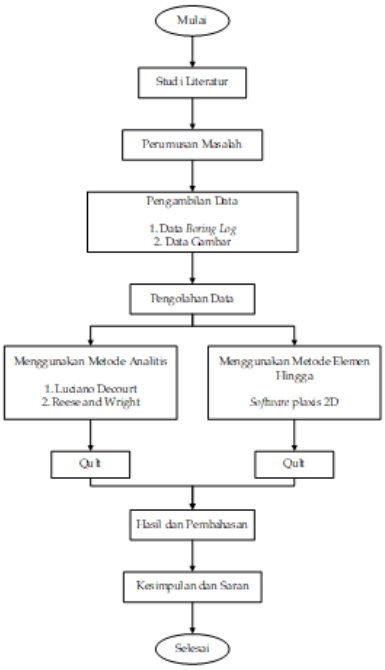
Daya Dukung *Ultimate* Fondasi *Bored Pile*

Software plaxis merupakan program yang dikembangkan menggunakan metode elemen hingga. Dalam metode ini menggunakan bagian-bagian kecil yang dianalisis dari suatu daerah yang disebut elemen. Interaksi tanah dengan fondasi merupakan salah satu permasalahan yang bisa diselesaikan oleh *software* plaxis, sehingga penurunan serta daya dukung fondasi dapat dianalisis menggunakan *software* ini (Sartika Hutapea et al., 2021).

METODE

Penelitian ini merupakan sebuah studi kasus yang dilakukan untuk memodelkan dan mengetahui besaran nilai daya dukung fondasi tiang bor, menggunakan metode *Luciano Decourt* , *Resse & Wright* dan *software* plaxis 2D berdasarkan tiga parameter data hasil uji SPT yang berbeda dalam radius yang berdekatan pada proyek pembangunan gedung fakultas di salah satu universitas yang berlokasi di Surabaya pusat. Mengumpulkan data teknis, data perencanaan, serta data penyelidikan tanah sebagai teknik pengumpulan data utama dilakukan dalam penelitian ini.

Lokasi yang dijadikan objek penelitian ini yaitu proyek pembangunan gedung fakultas di salah satu universitas yang berlokasi di Surabaya pusat, untuk mendapatkan nilai daya dukung fondasi *bored pile* yang paling mendekati dengan kondisi di lapangan, antara perhitungan menggunakan *software* plaxis dan perhitungan manual analitis menggunakan metode *Resse & Wright* dan *Luciano Decourt*. Nilai daya dukung diperoleh dari pengolahan data hasil SPT dan sebagian data laboratorium. Dalam penelitian ini digunakan prosedur seperti yang digambarakan pada diagram alir berikut ini.



Gambar 3. Diagram Alir Pengolahan Data
(Sumber: *Dokumen Pribadi)*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut:

Data Umum

Perencanaan fondasi pada proyek ini menggunakan fondasi *bored pile* dengan spesifikasi sebagai berikut.

1. Diameter *Bored Pile* : Ø 80 cm/ 0,8 m
2. Kedalaman : 18 meter
3. Jumlah : 296 titik BP
4. Mutu Beton : K-300 / fc' 25 MPa
5. Mutu Besi Tulangan : Fy = 420 MPa

Analisis Parameter Tanah

Berdasarkan data N-SPT dan hasil laboratorium pada ketiga data tanah yang ada, dalam *input* plaxis nantinya digunakan parameter-parameter seperti pada gambar di bawah ini. Data tanah yang diinput seluruhnya menggunakan *material model Mohr – Coulomb* dan *drainage type drained*.

Drainage Type	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*
Jenis Tanah	Lempung Berlanau	Lanau Berpasir	Lanau Berlempung	Lanau Berlempung	Lanau Berlempung	Lanau Berlempung	Lanau Berlempung	Lanau Berlempung
Lapisan	1	2	3	4	5	6	7	8
Kedalaman	0 – 3,5	3,5 – 6,5	6,5 – 9,5	9,5 – 12,5	12,5 – 15,5	15,5 – 18,5	18,5 – 21,5	21,5 – 24,5
N *average*	1	3,5	4	2,5	1,5	7,5	14,5	15,5
γdry (kN/m³)	13	16	13	13	13	17	17	17
γsat (kN/m³)	22,80	25,80	22,80	22,80	22,80	26,80	26,80	26,80
e	1,15	0,65	1,15	1,15	1,15	0,6	0,6	0,6
E (kN/m²)	1758,16	2654,48	3585,27	2240,80	2051,19	6722,39	13828,91	14819,13
v	0,35	0,25	0,35	0,35	0,4	0,3	0,3	0,3
c (kN/m²)	6	0	25	15,25	9	46,88	96,43	103,33
φ (°)	3	28	14,57	0,75	0,7	1,5	3,85	4
ψ (°)	0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 4. Parameter Data 1
(Sumber: *Perhitungan Pribadi)*

Drainage Type	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*
Jenis Tanah	Lanau Berlempung	Lanau Berpasir	Lanau Berlempung	Lanau Berlempung	Lanau Berlempung	Lanau Berlempung	Pasir Berlanau	Pasir Berlanau
Lapisan	1	2	3	4	5	6	7	8
N *average*	1	1,5	1	1,5	4,5	11	16	17,5
γdry (kN/m³)	13	16	13	13	13	17	16	16
γsat (kN/m³)	22,80	25,80	22,80	22,80	22,80	26,80	25,80	25,80
e	1,15	0,65	1,15	1,15	1,15	0,60	0,65	0,65
E (kN/m²)	1758,16	1137,63	1758,16	2051,19	4033,43	10243,64	12134,77	13272,41
v	0,35	0,25	0,4	0,35	0,35	0,3	0,3	0,3
c (kN/m²)	6	0	6	9	28,13	71,43	0	0
φ (°)	1,8	28	13,6	1,1	1,3	1,95	31,8	32,25
ψ (°)	0	0	0	0	0	0	1,8	2,25

Gambar 5. Parameter Data 2
(Sumber: *Perhitungan Pribadi)*

Drainage Type	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*	*Drained*
Jenis Tanah	Lempung Berlanau	Lempung Berlanau	Lempung Berlanau	Pasir Berlanau	Pasir Berlanau
Lapisan	1	2	3	4	5
Kedalaman	0 – 5,5	5,5 – 10,5	10,5 – 15,5	15,5 – 20,5	20,5 – 25,5
N *average*	3,33	4	16,33	37,67	39
γdry (kN/m³)	13	13	17	19	19
γsat (kN/m³)	22,80	22,80	26,80	28,80	28,80
e	1,15	1,15	0,60	0,40	0,40
E (kN/m²)	2987,73	3585,27	15615,86	28567,28	29578,51
v	0,35	0,35	0,3	0,35	0,35
c (kN/m²)	20,67	25	108,89	0	0
φ (°)	0,5	1,1	3,7	37,92	38,25
ψ (°)	0	0	0	7,92	8,25

Gambar 6. Parameter Data 3
(Sumber: *Perhitungan Pribadi)*

Parameter Beton Pada Plaxis

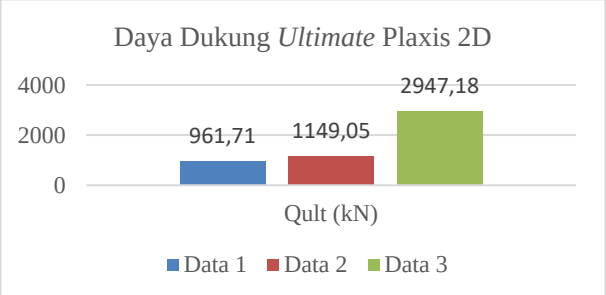
Data parameter beton yang diperlukan untuk *input* pada *software* plaxis disajikan dalam gambar berikut ini.

Material Model	*Linear Elastic*
Drainage type	*Non Porous*
γunsat (kN/m³)	24
E (kN/m²)	23500000
v	0,15

Gambar 7. Parameter Beton
(Sumber: *Perhitungan Pribadi)*

Hasil Daya Dukung *Software Plaxis*

Dalam perhitungan daya dukung menggunakan *software* plaxis, pemodelan dilakukan dengan cara penurunan rencana. Hasil yang diperoleh dari penurunan rencana berupa gaya yang bekerja pada sumbu vertikal, dimana untuk memperoleh nilai daya dukung *ultimate* maka gaya tersebut perluh diolah terlebih dahulu. Hasil yang didapatkan dari perhitungan 3 (tiga) data yang ada adalah sebagai berikut.

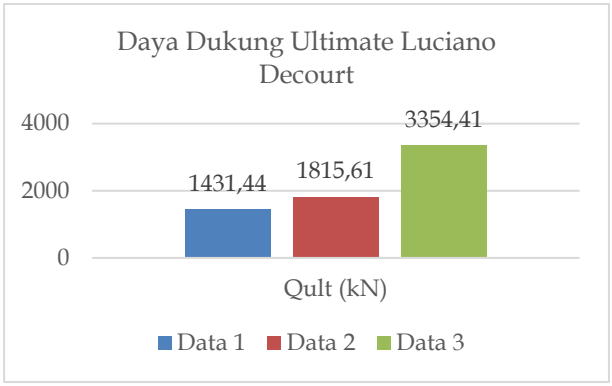


Gambar 8. Daya Dukung *Ultimate Plaxis 2D*

(Sumber: *Perhitungan Pribadi)*

Hasil Daya Dukung Luciano Decourt

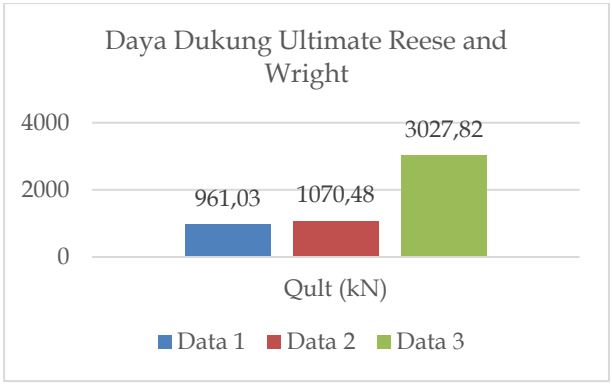
Hasil yang diperoleh dari perhitungan daya dukung metode *Luciano Decourt* menggunakan tiga data yang ada adalah sebagai berikut.



Gambar 9. Daya Dukung Luciano Decourt
(Sumber: *Perhitungan Pribadi)*

Hasil Daya Dukung Reese *and* Wright

Berdasarkan tiga data yang ada serta perhitungan daya dukung menggunakan metode Reese *and Wright* diperoleh hasil daya dukung sebagai berikut.



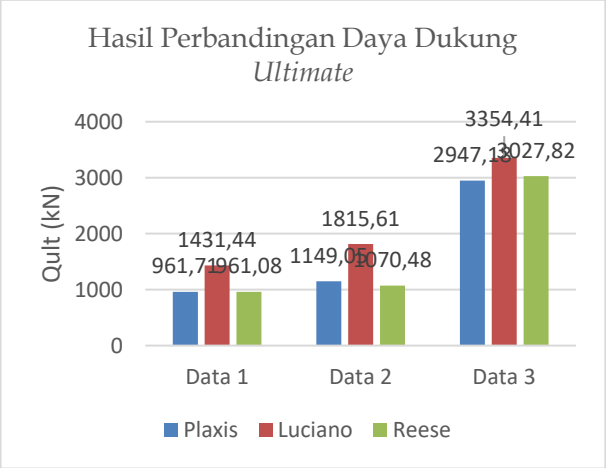
Gambar 10. Daya Dukung Reese *and* Wright
(Sumber: *Perhitungan Pribadi)*

Perbandingan Hasil Daya Dukung *Ultimate*

Antara metode *Luciano Decourt*, *Reese and Wright*, dan Plaxis 2D, didapatkan hasil perbandingan serta persentase selisih daya dukung sebagai berikut.

Data	Plaxis	Luciano	Reese	Selisih (P&L)	%	Selisih (P&R)	%
1	961,71	1431,44	961,08	-469,73	-32,8%	0,63	0,1%
2	1149,05	1815,61	1070,48	-666,56	-36,7%	78,58	7,3%
3	2947,18	3354,41	3027,82	-407,24	-12,1%	-80,64	-2,7%

Gambar 11. Selisih Hasil Qult
(Sumber: *Perhitungan Pribadi)*



Gambar 11. Hasil Perbandingan Qult
(Sumber: *Perhitungan Pribadi)*

SIMPULAN

Dari hasil pengolahan data dan analisis yang dilakukan pada uraian di atas, didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Hasil daya dukung *ultimate* dari pemodelan fondasi *bored pile* menggunakan *software* Plaxis 2D berupa *forces* dengan satuan kN/rad. Dimana nilai Fy tersebut kemudian dikalikan dengan 2π dan dihasilkan nilai Qult data 1 sebesar 961,71 kN, data 2 sebesar 1149,05 kN, dan data 3 sebesar 2947,18 kN.
2. Daya dukung fondasi tiang bor manual analitis menggunakan metode *Luciano Decourt* didapatkan nilai Qult hasil perhitungan sebesar 1431,44 kN untuk data 1, 1815,61 kN untuk data 2, dan 3354,41 kN untuk data 3.
3. Untuk metode *Reese and Wright* diperoleh nilai Qult sebesar 961,08 kN untuk data 1, 1070,48 untuk data 2, dan 3027,82 kN untuk data 3.
4. Dari hasil perhitungan ketiga metode didapatkan selisih nilai antara metode Plaxis 2D dengan metode *Luciano Decourt* sebesar -469,73 kN atau -32,8% untuk data 1, -666,56 kN atau -36,7% untuk data 2, dan -407,24 kN atau -12,1% untuk data 3.
5. Untuk selisih anatar metode Plaxis 2D dengan metode *Reese and Wright* diperoleh hasil sebesar 0,63 kN atau 0,1% untuk data 1, 78,58 kN atau 7,3% untuk data 2, dan -80,64 kN atau -2,7% untuk data 3.
6. Dari hasil ketiga metode yang digunakan untuk perhitungan daya dukung fondasi *bored pile* dapat disimpulkan bahwa, nilai hasil perhitungan menggunakan metode *Reese and Wright* paling mendekati dengan hasil perhitungan metode Plaxis 2D, dengan selisih dibawah 20% atau memenuhi batas toleransi antara perhitungan manual dengan *software* untuk nilai nilai pada tiga data yang digunakan.
7. Kesimpulan dari hasil pengolahan data ialah nilai daya dukung maksimum dari perhitungan metode Plaxis 2D sangat dipengaruhi oleh data yang digunakan atau parameter yang dimasukkan, hal ini juga tergantung dengan asumsi dan pemodelan yang dilakukan oleh tiap individu.

REFERENSI

ASTM, I. (2014). *ASTM D1586 − 11 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*. https://doi.org/10.1520/D1586-11.2

Bentley. (2023). *Plaxis 3D 2023.1 General Information Manual* (05 Januari). Bentley Company.

Bowles, J. E. (1982). *Analisis Dan Desain Pondasi Edisi Keempat Jilid 1*. Erlangga.

BSN. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik* (Patent 8460:2017).

Fahmi, K. (2022). Analisa Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Dengan Metode Mayerhoff, Luciano Decourt, Reese And Wright, Dan Elemen Hingga (Plaxis) [Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung].

Jenderal Bina Marga, D. (2016). *Manual Petunjuk Teknis Pengujian Tanah*. Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Ramadhan, M. N. D., Solin, D. P., & Astawa, M. D. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Bentuk Dan Variasi Dimensi Terhadap Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Gedung Kuliah Bersama Dan Laboratorium Feb Upn "Veteran" Jawa Timur. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, *11*(2), 245–252.

Rohani N, Y. (2023). *Analisis Daya Dukung Fondasi Bored Pile Pada Proyek Gedung Mice Kawasan Tana Mori-NTT* [Skripsi]. Universitas Negeri Jambi.

Sartika Hutapea, D., Roesyanto, & Iskandar, R. (2021). Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor dengan Plaxis 3D terhadap Hasil Loading Test. *Jurnal Syntax Admiration*, *2*(6), 1007–1026.

Simamora, M. C. S., & Ahmad Rifai, M. (2019). *Pemodelan Fondasi Dalam pada Batuan Karst untuk Bangunan Tinggi dengan Menggunakan Plaxis*. Universitas Gadjah Mada.

SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, Pub. L. No. 8460:2017, 323 (2017).

Tobing, D. L. (2019). *Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile pada Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartmen Medan*. Universitas Medan Area.