

**ANALISIS KOMPARASI NILAI DAYA DUKUNG VERTIKAL PONDASI
BORE PILE BERDASARKAN DATA N-SPT, UJI PDA DAN METODE
ELEMEN HINGGA (STUDI EMPIRIS PROYEK PEMBANGUNAN
JEMBATAN ARANIO KABUPATEN BANJAR)**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF VERTICAL BEARING CAPACITY OF
BORE PILE FOUNDATION BASED ON N-SPT DATA, PDA TEST AND
FINITE ELEMENT METHODS (EMPIRICAL STUDY OF THE ARANIO
BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT, BANJAR REGENCY)**

Akhmad Gazali¹, Eka Purnamasari², Ilyas Refallandi Kesuma³

^{1,2,3} Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, Banjarmasin, Jalan Adhyaksa No.2
Kayutangi Banjarmasin, Banjarmasin

E-mail: akhmadgazali51@gmail.com

Diterima 20-10-2021	Diperbaiki 27-10-2021	Disetujui 22-11-2021
---------------------	-----------------------	----------------------

ABSTRAK

Pondasi bore pile menahan dan meneruskan beban yang bekerja dalam sistem rekayasa konstruksi ke lapisan tanah dibawahnya. Pondasi bore pile memiliki keunggulan dapat menembus batuan jika dibandingkan dengan pondasi tiang pancang hal ini adalah salah satu penyebab digunakannya pondasi ini dalam proyek pembangunan jembatan Aranio. Daya dukung ijin harus lebih besar dari gaya yang bekerja penelitian ini bertujuan mengevaluasi dan membandingkan besarnya daya dukung yang diperoleh dari berbagai metode, efisiensi kelompok tiang pondasi bore pile serta penurunan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Metode yang digunakan antara lain Reese & Wright, Poulos & Davis, Metode Feld dan Metode Elemen Hingga yaitu software Plaxis 2D V 8.6 sebagai alat bantu hitung dan pemodelan, sehingga nantinya hasil analisis dapat dibandingkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung ultimit (Q_u) berdasarkan metode Reese & Wright sebesar 733,22 ton, Metode PDA sebesar 633 ton dan metode elemen hingga sebesar 687,25 ton. Penurunan yang terjadi dengan metode Poulos & Davis sebesar 1,32mm, metode PDA sebesar 7,4 mm dan metode elemen hingga sebesar 1,60 mm. Berdasarkan hasil yang diperoleh perlu dilakukan analisis lanjutan dengan metode lainnya, agar didapatkan hasil yang bervariasi.

Kata Kunci : Bore Pile, Daya Dukung Vertikal, Data N-SPT, Uji PDA, Metode Elemen Hingga

ABSTRACT

The bore pile foundation holds and transmits the loads that work in the construction engineering system to the subsoil. Bore pile foundations have the advantage of being able to penetrate rocks when compared to pile foundations, this is one of the reasons why this foundation is used in the Aranio bridge construction project. Permitted bearing capacity must be greater than the working force. This study aims to evaluate and compare the magnitude of the bearing capacity obtained. from various methods, the efficiency of the bore pile group and the settlement that occurs due to the working load. The methods used include Reese & Wright, Poulos & Davis, Feld Method and Finite Element Method, namely Plaxis2D V 8.6 software as a calculation and modeling tool, so that later the results of the analysis can be compared. The results showed that the ultimate bearing capacity (Q_u) based on the Reese & Wright method was 733.22 tons, the PDA method was 633 tons and the finite element method was 687.25 tons. The decrease that occurs with the Poulos & Davis method is 1.32mm, the PDA method is 7.4 mm and the finite element method is 1.60 mm. Based on the results obtained, it is necessary to carry out further analysis with other methods, in order to obtain varying results.

Keywords : Bore Pile, Vertical Bearing Capacity, N-SPT Data, PDA Test, Finite Element Methods

PENDAHULUAN

Pemerintah Provinsi Kalimantan Selatan melalui Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) telah melakukan pembangunan, peningkatan, rehabilitasi, pemeliharaan jalan dan jembatan menghubungkan Kota Banjarbaru dan Kabupaten Tanah Bumbu. Jalan Tol Banjarbaru-Batulicin ini memangkas perjalanan dan waktu hampir setengah dari jalan utama yaitu hanya menempuh jarak 130 KM dan waktu sekitar 2-3 jam perjalanan. Pada pembangunan Jalan Tol Banjarbaru-Batulicin ini juga melakukan pembangunan 4 buah jembatan yang salah satunya yaitu Jembatan Aranio yang berlokasi di Jl. Ir. P. M. Noor, Awam Bangkal, Kecamatan Karang Intan Kab. Banjar Kalimantan Selatan 70661.

Pembangunan Jembatan Aranio ini menggunakan struktur Gider Baja komposit dengan menggunakan pondasi *bore pile*, pekerjaan pondasi merupakan pekerjaan yang sangat penting dalam pekerjaan konstruksi, karena pondasi tersebut menahan dan menanggung beban yang bekerja di atasnya yaitu beban struktur atas dan beban yang bekerja pada struktur tersebut. Kelebihan pondasi tiang bor dapat di pasang menembus batuan dibandingkan tiang pancang. Dalam hal ini penggunaan pondasi *bore pile* adalah pilihan yang tepat, karena letak jembatan berada di daerah dataran tinggi yang lapisan tanahnya seringkali keras dan berbatu.

Dalam perancangan pondasi, sangat penting untuk menganalisis daya dukung pondasi. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung daya dukung vertikal pondasi berdasarkan data uji penetrasi standar (SPT), data uji PDA, dan metode elemen hingga. Adapun rumus masalah dalam penelitian ini adalah 1) bagaimana hasil evaluasi dan perbandingan besarnya daya dukung vertikal pada pondasi *bore pile* dengan menggunakan metode analistik, data uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)? 2) bagaimana menentukan nilai penurunan yang terjadi pada pondasi *bore pile*? 3) bagaimana menentukan efisiensi daya dukung vertikal pada kelompok tiang *bore pile*?

Berdasarkan hal-hal di atas didapat tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut: 1) untuk mengetahui hasil evaluasi dan perbandingan besarnya daya dukung vertikal pada pondasi *bore pile* dengan menggunakan metode analistik, data uji PDA (*Pile Driving Analyzer*); 2) untuk menentukan

nilai penurunan yang terjadi pada pondasi *bore pile*; dan 3) untuk menentukan efisiensi daya dukung vertikal pada kelompok tiang *bore pile*.

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : 1) Daya dukung yang ditinjau hanya terhadap arah vertikal, sedangkan untuk arah horizontal dan lainnya di abaikan; 2) Pondasi *bore pile* yang di tinjau dalam penelitian ini terletak pada pilar 1; 3) Pembebanan jembatan yang di tinjau hanya beban yang bekerja pada pilar 1; 4) Dalam analisis pembebanan jembatan gaya gesek pada perletakan dan perbedaan suhu di abaikan; 5) Data N-SPT yang di gunakan terletak pada pilar 1 yaitu pada *bore hole* 2 (BH 2); 6) Data PDA test yang digunakan adalah data Uji PDA pada pilar 1 dengan 2 titik pengujian yaitu *bore pile* titik 2; 7) Metode yang digunakan dalam perhitungan daya dukung berdasarkan data N-SPT adalah metode Reese & Wright (1977); 8) Metode yang digunakan untuk menentukan penurunan tunggal pondasi *bore pile* adalah metode Poulos & Davis (1980); dan 9) Metode yang digunakan untuk menentukan efisiensi kelompok tiang *bore pile* adalah metode Feld.

METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi besarnya daya dukung vertikal pondasi *bore pile*, menghitung daya dukung kelompok tiang penurunan yang terjadi berdasarkan data N-SPT, PDA, dan Metode Elemen Hingga pada proyek pembangunan Jembatan Aranio Kabupaten Banjar. Data Primer diperoleh langsung yang berupa wawancara maupun hasil observasi dari lapangan serta data-data sekunder yang digunakan berupa data umum proyek, Shopdrawing, data N-SPT dan hasil uji PDA. Adapun lokasi penelitian berada pada Pembangunan Jembatan Aranio Jl. Ir. P. M. Noor, Awang Bangkal, Kecamatan Karang Intan, Kabupaten Banjar, Provinsi Kalimantan Selatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Adapun Data teknis pondasi *bore pile* sebagai berikut:

1. Panjang *bore pile* : 18 m
2. Diameter *bore pile* : 80 cm
3. Mutu beton : F_c 30 Mpa
4. Slump beton : 18-20 cm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu data sekunder dalam penelitian ini adalah data N-SPT. Data N-SPT yang digunakan adalah pada *Bore Hole* 2 (BH-2), karena BH-2 berada di sekitar titik Pilar 1 yang menjadi titik di lokasi penelitian ini. Berikut data N-SPT pada BH-2 dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

Gambar 2. Data N-SPT pada *Bore Hole* 2

Perhitungan daya dukung ultimit pada titik BH-2 adalah sebagai berikut:

Data *Bore Pile*:

Dimensi Tiang (d) = 80 cm

Keliling Tiang (p) = $\pi \cdot d$

$$= 3,14 \cdot 80 \text{ cm}$$

$$= 251,2 \text{ cm} = 2,512 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Bore Pile} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 80^2 \text{ cm}^2 \\ &= 5024 \text{ cm}^2 = 0,5024 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

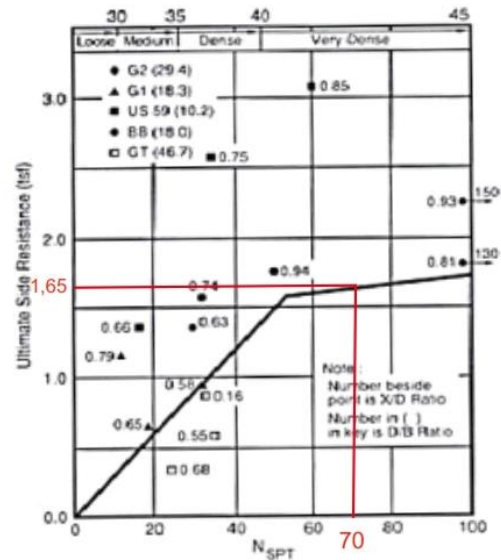
Untuk daya dukung ujung pada tanah non kohesif dapat diketahui dengan menggunakan grafik Reese & Wright. Untuk lapisan tanah pada kedalaman 12 m : $N\text{-SPT} = 60/10$. Karena $N\text{-SPT} < 60$ maka q_p adalah 40 tsf = 384,425 ton/m² maka :

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$Q_p = 384,425 \text{ ton/m}^2 \cdot 0,5024 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 193,135 \text{ ton}$$

Untuk tanah non kohesif pada kedalaman 12 m nilai f_s dapat di ketahui dengan menggunakan grafik Reese & Wright (Gambar 3) untuk $53 < N < 100$.



Gambar 3. Menentukan nilai tahanan selimut pada tanah non-kohesif [1]

Untuk $N < 53$ maka digunakan :

$$f_s = 1,65 \text{ tsf}$$

$$1 \text{ tsf} = 9,61 \text{ ton/m}^2$$

$$f_s = 1,65 \cdot 9,61$$

$$f_s = 15,867 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_s = 15,867 \cdot 2 \cdot 2,512 = 79,668 \text{ ton.}$$

$$Q_{ultimate} = Q_p + Q_s$$

$$Q_{ultimate} = 193,135 + 79,668$$

$$= 272,803 \text{ ton}$$

Perhitungan selanjutnya ditampilkan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 1. Pehitungan Daya Dukung Vertikal Pondasi *Bore Pile* pada titik BH.2

Depth (m)	N-SPT	Deskripsi	A	Cu (ton/m ²)	Skin Friction (ton)	End Bearing (ton)	Q Ultimate (ton)
0	0	Lempung	0,55	0	0	0	0
2	3	Lempung	0,55	2,0	5,522	9,0432	14,565
4	9	Batu kerikil	0	0	19,991	271,296	291,29
6	74	Batu kerikil	0	0	102,556	193,135	295,69
8	73	Batu kerikil	0	0	184,155	193,135	377,29
10	70	Batu breksi	0	0	263,823	193,135	456,96
12	70	Batu breksi	0	0	343,491	193,135	536,63
14	68	Batu breksi	0	0	422,676	193,135	615,81
16	68	Batu breksi	0	0	501,861	193,135	695
18	66	Batu breksi	0	0	580,08	193,135	773,22

Data Hasil Uji *Pile Driving Analyzer* (PDA)

Pile Driving Analyzer (PDA) di lakukan pada *bore pile* titik 2 dan 12, akan tetapi dalam penelitian ini titik yang di tinjau adalah titik BP2.

Uji PDA dilakukan dengan cara menumbuk pondasi menggunakan palu khusus dalam kasus ini palu yang digunakan memiliki berat 3,66 ton dan di tumbuk sebanyak tiga kali dalam ketinggian yang bervariasi sesuai dengan batas tinggi pada bagian tengah palu. Berikut di bawah ini adalah hasil uji PDA pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji PDA

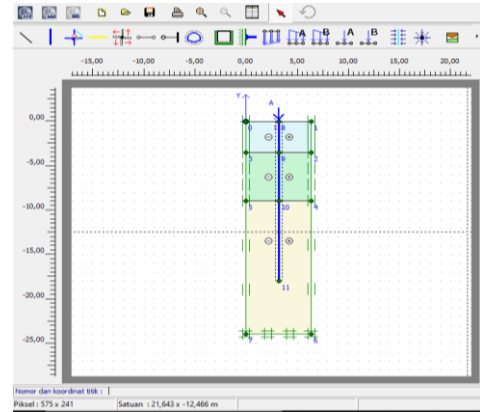
Pile No.	End Bearing (Ton)	Skin Friction (Ton)	Q Ultimit (Ton)	Penurunan (mm)
P1 BP2	49	584	633	7,4



Gambar 4. Proses Uji PDA di Lokasi Penelitian

Perhitungan Daya dukung pondasi *Bore pile* menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software Plaxis [2] dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mengambarkan geometri pondasi dan lapisan tanah berdasarkan data N-SPT dengan menggunakan model aximetris 12 nodal dan pemodelan tanah Mohr Coloumb.



Gambar 5. Menggambarkan Geometri Tanah pada Metode Elemen Hingga

2. Memasukkan parameter tiang dan tanah

Tabel 3. Parameter Tiang dalam Metode Elemen Hingga

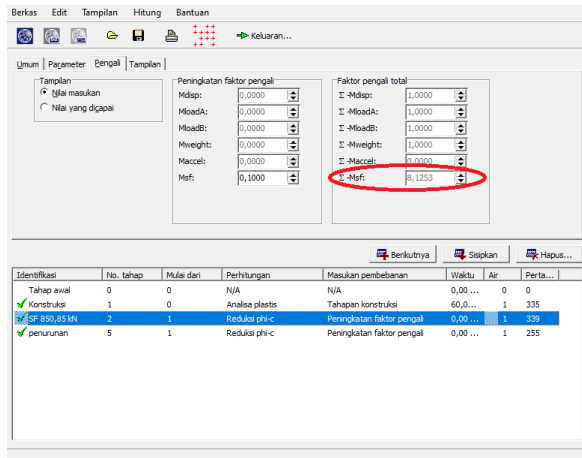
Lokasi	Panjang (m)	Diameter (m)	EA (kN/m)	EI (kNm ² /m)	Angka Poisson
P1 BP2	18	0,8	12.930.000	1.640.000	0,3

Tabel 4. Parameter Tanah dalam Metode Elemen Hingga

Parameter	Layer 1 Lempung	Layer 2 Batu Kerikil	Layer 3 Batu Breksi
MAT (m)		1,7	
E _s	30.000	250.000	500.000
v poisson ratio	0,3	0,3	0,3
γ _{dry} (kN/m ³)	19,6	18	18
γ _{sat} (kN/m ³)	20,2	20	20
C (kN/m ³)	17,4		
K _x (m/day)	0,019008	0,863	0,863
K _y (m/day)	0,019008	0,863	0,863
Ø	20	42,1	42,1
ψ	20	42,1	42,1

3. Melakukan program perhitungan dengan beberapa tahap mulai dari tahap konstruksi, perhitungan faktor keamanan dan penurunan.

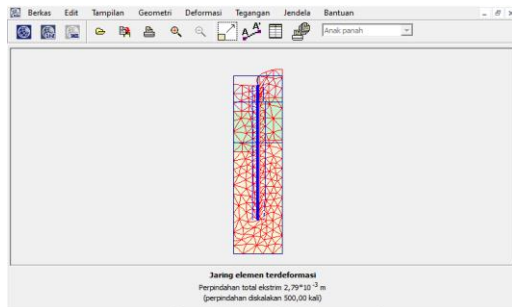
Hasil dari metode elemen hingga dengan bantuan software Plaxis mendapatkan faktor keamanan sebesar 8,125 sehingga daya dukung ultimitnya sebagai berikut.



Gambar 6. Hasil Faktor Keamanan Metode Elemen Hingga

$$\begin{aligned} Q_u &= \text{Beban Ultimit} \times \text{Faktor keamanan} \\ &= 85,087 \text{ ton} \times 8,125 \\ &= 691,33 \text{ ton} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan penurunan menggunakan metode elemen hingga sebesar 2,79 mm.



Gambar 7. Hasil Penurunan Metode Elemen Hingga

Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang menggunakan Metode Feld [3] sebagai berikut :

$$E_g = 1 - \frac{\text{Jumlah Tiang Yang Mengelilingi}}{\text{Jumlah Tiang}}$$

$$E_g A = 5 \cdot \left(1 - \frac{8}{23}\right) = 3,260$$

$$E_g B = 2 \cdot \left(1 - \frac{6}{23}\right) = 1,478$$

$$E_g C = 10 \cdot \left(1 - \frac{5}{23}\right) = 7,826$$

$$E_g D = 4 \cdot \left(1 - \frac{4}{23}\right) = 3,304$$

$$E_g E = 2 \cdot \left(1 - \frac{3}{23}\right) = 1,739$$

$$E_g = \frac{3,260 + 1,478 + 7,826 + 3,304 + 1,739}{23} = 0,765$$

$$Q_g = 0,765 \cdot 23 \cdot 386,6 = 6.802,277 \text{ ton}$$

Perhitungan penurunan segera menggunakan metode Poulos & Davis [4] dalam sebagai berikut:

$$S = \frac{Q \cdot I}{E_s \cdot d}$$

$$Q = 54,54 \text{ ton} = 545,4 \text{ kN}$$

$$E_s = 6500 \text{ lb/in}^2$$

$$= 44.815 \text{ Kpa}$$

$$= 44,815 \text{ Mpa}$$

$$E_p = 4700 \cdot \sqrt{30}$$

$$= 25.742,9602 \text{ Mpa}$$

$$E_B = 10 \times E_s$$

$$= 10 \times 44,81$$

$$= 448,16 \text{ Mpa}$$

$$R_A = \frac{0,5024}{\frac{1}{4} \cdot \pi (0,8)^2}$$

$$= 1$$

$$K = \frac{E_p \cdot R_A}{E_s}$$

$$= \frac{25742,96 \cdot 1}{44,815 \text{ MPa}}$$

$$= 574,426 \text{ MPa}$$

$$\text{Untuk } \frac{d_b}{d} = \frac{0,8}{0,8} = 1$$

$$\text{Untuk } \frac{L}{d} = \frac{18}{0,8} = 22,5$$

Dengan menggunakan grafik pada Gambar 3,4,5,6,7 diperoleh $I_0 = 0,08$ $L/D = 22,5$ $db/d = 1$, $R_\mu = 0,935$ (untuk $\mu_s = 0,3$ dan $K = 574,426$), $R_k = 1,25$ (untuk $L/d = 22,5$ dan $K = 574,426$), $R_h = 0,63$ (untuk $L/D = 22,5$ dan $h/l = 1,33$), $R_b = 0,44$ (untuk $E_b/E_s = 10$ dan $K = 574,406$)

Untuk tiang apung adalah :

$$I = 0,08 \times 1,25 \times 0,935 \times 0,63$$

$$= 0,0589$$

$$S = \frac{850,878 \text{ kN} \cdot 0,058905}{44815 \text{ KPa} \cdot 0,8 \text{ m}}$$

$$= 0,00139 \text{ m} = 1,39 \text{ mm}$$

Untuk Tiang dukung ujung adalah :

$$I = 0,08 \times 1,25 \times 0,935 \times 0,44$$

$$= 0,04114$$

$$S = \frac{850,878 \text{ kN} \cdot 0,04114}{44815 \cdot 0,8}$$

$$= 0,000976 \text{ m} = 0,976 \text{ mm}$$

Sehingga penurunan total pondasi sebagai berikut :

$$S_{Total} = 1,39 + 0,976$$

$$S_{Total} = 2,366 \text{ mm}$$

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Daya dukung dan Penurunan

Metode	Q Ultimate (ton)	Penurunan (mm)	Kedalaman (m)
Metode Analitis Reese&Wright 1977	733,22		18
Poulos&Davis 1980		2,36	18
Uji PDA	633,00	7,4	18
Metode Elemen Hingga	691,33	2,79	18

Berdasarkan Tabel 5 di atas diketahui hasil perhitungan menggunakan metode Reese & Wright memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode elemen hingga dan hasil uji PDA di lapangan, sehingga konstruksi pondasi dapat dikatakan aman karena hasil perhitungan daya dukung yang sifatnya adalah perencanaan yaitu metode elemen hingga dan Reese & Wright memiliki nilai yang lebih besar dengan selisih yang dapat di terima dari hasil pengujian PDA di lapangan.

Penurunan pondasi *bore pile* menggunakan metode Poulos & Davis, dan metode elemen hingga memiliki nilai yang lebih kecil jika di bandingkan dengan hasil uji PDA hal ini di sebabkan pada metode elemen hingga dan Poulos & Davis penurunan segera di hitung berdasarkan beban yang bekerja sedangkan pengujian PDA di lapangan menghitung penurunan dengan beban yang besarnya mendekati daya dukung ultimit.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil evaluasi dan perbandingan besarnya daya dukung vertikal pondasi *bore pile* menggunakan metode Reese & Wright 1977 didapat $Q_u = 733,21$ ton, menggunakan metode elemen hingga didapat $Q_u = 691,33$ ton, dan hasil PDA $Q_u = 633$ ton.
- Hasil Penurunan pondasi *bore pile* menggunakan metode Poulos & Davies 1980 = 2,36 mm, menggunakan metode elemen hingga = 2,79 mm dan menggunakan data PDA di dapat penurunan total = 7,4 mm.

- Hasil perhitungan efisiensi kelompok tiang (E_g) dengan metode Feld = 0,765, maka hasil perhitungan nilai daya dukung kelompok (Q_g) sebesar 6.802,221 ton.

SARAN

Dalam penelitian ini menggunakan parameter yang di dapat dari hasil kolerasi sehingga besar harapan untuk penelitian selanjutnya dapat menganalisis dengan menggunakan parameter dan pemodelan tanah yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Reese, Lymon C. and Wright, Stephen J. Drilled Shaft Manual, Washington, D. C: U. S. Dept. of Transportation Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Implementation Division (1977).
- [2] Siregar, Muhammad Fahmi. Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Dengan Menggunakan Metode Analitis dan Program Software Plaxis V.8.6, Universitas Sumatera Utara (2018).
- [3] Viggiani, Carlo., Alessandro Mandolini., Gianpiero Russo., *Piles and Pile Foundations*, (2011).
- [4] Hardiyatmo, H. C. *Analisa dan Perancangan Pondasi II Edisi Ketiga*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta (2015).