

## PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH JEMBATAN (STUDI KASUS: STRUKTUR *PIER* 5 PADA PROYEK JALAN TOL SOLO – YOGYAKARTA 0+750)

Michael Alfa Raditya<sup>1</sup>, Arya Budi Mulyanto<sup>1</sup>, Undayani Cita Sari<sup>1\*</sup>, Muhrozi<sup>1</sup>,  
Bambang Pardoyo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, Semarang, Indonesia, 50275

\*Corresponding author: [undayanicita@live.undip.ac.id](mailto:undayanicita@live.undip.ac.id)

**Abstract:** The planning of the substructure in the construction of a bridge is crucial to support the load of its superstructure. The Toll Road Construction Project Solo – Yogyakarta - NYIA STA 0+750 consists of 2 lanes, one towards Jogja and one towards Solo. This study focuses on the analysis of the pier 5 structure towards Jogja, including load planning, pier head design, pier design, foundation design, bearing capacity, and settlement. The static indeterminate method using numerical calculations method was employed in the analysis of pier head and pier design, yielding safe results to support the planned superstructure load. For foundation design analysis, diameters of 0,8 m and 1,0 m were considered. Bearing capacity and settlement calculations for the foundation used the group pile method, analyzed through the empirical methods of Reese & Wright and Reese & O'Neill, as well as MIDAS GTS NX programming. After analysis, the chosen bored pile design consists of a group of 25 piles with a diameter of 1,0 m and a length of 10 m, along with a pile cap measuring 12 x 12 x 2 m<sup>3</sup>. The bearing capacity of the group bored pile obtained from the empirical method is 56785,146 kN, with a settlement of 5,768 cm. The bearing capacity from the MIDAS GTS NX method is also 45514,535 kN, with a settlement of 6,556 cm for the group bored pile.

**Keywords:** Bridge Planning; Pier; Pile; Bearing Capacity; Settlement

**Abstrak:** Perencanaan struktur bawah dalam pembangunan sebuah jembatan merupakan hal yang sangat diperlukan guna menopang beban struktur atasnya. Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta - NYIA STA 0+750 memiliki 2 jalur, 1 jalur ke arah Jogja dan 1 jalur ke arah Solo. Pada studi ini dilakukan analisis pada struktur pier 5 arah ke Jogja terkait perencanaan pembebanan, desain pier head, desain pier, desain pondasi, daya dukung, dan penurunan. Dalam analisis desain pier head dan desain pier digunakan metode statis tak tentu dengan metode perhitungan numerik dan didapatkan hasil yang aman untuk menopang beban struktur atas rencana. Dalam analisis desain pondasi digunakan desain diameter 0,8 m dan 1,0 m. Perhitungan daya dukung dan penurunan pondasi menggunakan metode group pile yang dianalisis menggunakan metode empiris Reese & Wright dan Reese & O'Neill serta pemrograman MIDAS GTS NX. Setelah dianalisis maka didapatkan desain bored pile yang digunakan adalah kelompok tiang berjumlah 25-pile berdiameter 1,0 m dengan panjang 10 m dan dengan pilecap berukuran 12 x 12 x 2 m<sup>3</sup>. Hasil daya dukung group bored pile yang didapatkan dari metode empiris adalah sebesar 56785,146 kN dan penurunan group bored pile didapatkan hasil 5,768 cm. Hasil daya dukung group bored pile yang didapatkan dari metode MIDAS GTS NX adalah sebesar 45514,535 kN serta penurunan group bored pile didapatkan hasil 6,556 cm.

**Kata Kunci:** Perencanaan Jembatan; *Pier*; *Pile*; Daya Dukung; Penurunan

### PENDAHULUAN

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, pondasi merupakan bagian yang harus ada pada pembangunan gedung, jembatan, maupun jalan. Tanah memiliki peranan penting pada suatu konstruksi bangunan untuk mendukung beban struktur bangunan yang berada di atasnya. Suatu bangunan harus mempunyai pondasi yang mampu mendukung beban bangunan tersebut. Pondasi adalah bagian dari sistem rekayasa yang

mentransmisikan beban ke dalam tanah atau batuan yang mendasarinya, termasuk beban yang didukung oleh pondasi dan berat pondasi itu sendiri (Bowles, 1997).

Oleh karena itu dalam perencanaan pondasi perlu diperhatikan supaya pondasi mampu menahan beban yang bekerja sehingga struktur bangunan tidak mengalami keruntuhan. Pada umumnya pondasi dapat menerima beban aksial dan beban tarik yang kemudian akan disalurkan pada tanah keras

sebagai tanah dasar. Peranan penting dalam perencanaan struktur pondasi suatu bangunan adalah pembebanan, oleh karena itu bangunan, sehingga dapat ditentukan dengan besaran ataupun kekuatan tiang bor untuk bangunan yang akan direncanakan (Sari et al., 2021).

Jalan Tol Solo-Yogyakarta akan menghubungkan Kota Surakarta dan Kota Yogyakarta yang akan menjadi kesatuan dari Jalan Tol Trans Jawa. Jalan Tol Solo-Yogyakarta terbagi dalam 3 seksi, yaitu: Seksi 1: Solo-Purwomartani, Seksi 2: Purwomartani-Gamping, Seksi 3: Gamping-Purworejo. Jalan tol ini juga harus didukung dengan adanya jembatan underpass yang berfungsi sebagai jalan tol utama yang pasti akan memikul beban kendaraan yang sangat berat. Maka dari itu diperlukan pondasi yang sesuai agar lapisan tanah di bawah pondasi mampu menahan seluruh beban dan pengaruh yang akan terjadi pada struktur (Fauzhan et al., 2021).

Pada studi ini direncanakan *pier*, pondasi *pile* yang akan digunakan, desain pondasi *pile*, dan analisis pondasi tiang kelompok untuk menopang beban struktur atasnya. Untuk studi ini akan direncanakan 2 alternatif desain menggunakan rumus empiris dan aplikasi MIDAS GTS NX. Dari kedua desain alternatif ini akan dipilih satu alternatif yang paling efisien dan efektif untuk dilaksanakan.

## METODE PENELITIAN

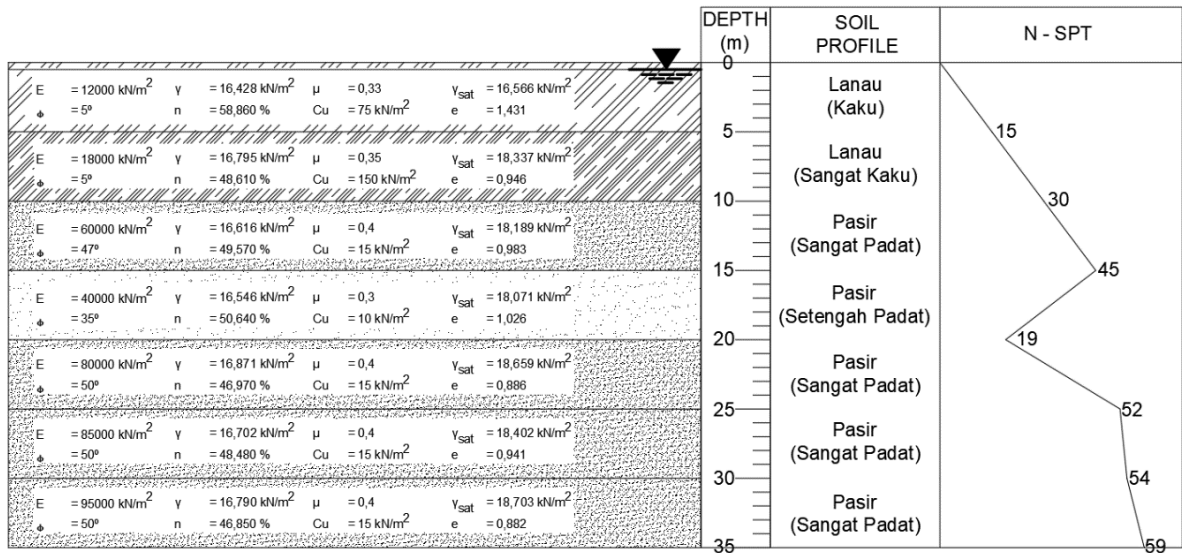
Dalam melakukan studi ini diperlukan tahap pengumpulan data untuk menunjang perhitungan kapasitas daya dukung dan penurunan tiang tunggal secara teoritis. Data yang diperoleh merupakan data sekunder yang berupa data borlog, properties tanah yang didapat dari Laboratorium Mekanika Tanah UNDIP dan data as built drawing dari PT. Adhi Karya pada Proyek Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Seksi 1 Paket 1.1 (STA 0+000 s.d. 22+300). Data Borlog merupakan hasil analisis penyelidikan tanah dari laboratorium yang terdiri dari nilai N-SPT beserta jenis tanah pada setiap 2 meter

diharuskan ketelitian dalam perhitungan beban yang akan diberikan kepada sebuah

kedalaman tanah. Pada penelitian ini data borlog yang digunakan berupa data borlog P5 pada STA 0+750. Data Properties Tanah merupakan hasil pengolahan dari data borlog P5 pada STA 0+750 yang menghasilkan spesifikasi tanah pada setiap 5 m kedalaman tanah. Data properties tanah ini nantinya sangat berguna dalam perhitungan pembebanan, daya dukung pondasi dan penurunan pondasi. Data As Built Drawing merupakan gambar teknis bangunan pier yang sesuai dengan kondisi di lapangan sesuai dengan alinyemen vertikal dan alinyemen horisontal rencana. Data ini digunakan untuk melakukan perhitungan pembebanan sebagai acuan untuk merencanakan pondasi.

Perhitungan pembebanan pondasi terdiri dari berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur, gaya rem, beban angin, dan beban gempa. Dari beban-beban tersebut dilakukan kombinasi pembebanan sesuai SNI 1725 (2016). Dari banyaknya kombinasi pembebanan yang dihitung, ditentukan pembebanan mana yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya berdasarkan kelengkapan elemen pembebanan yang tersaji.

Setelah didapatkan nilai kombinasi pembebanan maka dilanjutkan dengan perencanaan *pier* dengan menggunakan metode perhitungan numerik. Dengan metode ini dapat mengetahui apakah desain ini dapat kuat menopang beban yang direncanakan. Kemudian dilanjutkan perhitungan daya dukung pondasi dengan menggunakan metode empiris yaitu dengan metode Reese & Wright dan metode Reese & O'Neill serta menggunakan 2 (dua) alternatif diameter tiang yaitu 0,8 m dan 1,0 m. Setelah diperoleh nilai daya dukung kelompok, jumlah tiang yang diperlukan, dan ukuran pile cap dilanjutkan dengan menghitung penurunan pondasi menggunakan metode penurunan Poulos & Davis. Dalam perhitungan daya dukung dan penurunan pondasi dengan metode empiris menggunakan stratifikasi tanah yang tertera pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Stratifikasi Tanah untuk perhitungan Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Metode Empiris

Hasil dari perhitungan secara empiris kemudian dianalisis dan dipilih diameter tiang yang memiliki tingkat keefektifan dan keefisienan yang paling baik, ditinjau dari daya dukung dan penurunannya. Kemudian tahapan perencanaan pondasi dengan metode empiris yang terakhir adalah melakukan kontrol stabilitas terhadap geser dan guling.

Setelah kontrol stabilitas selesai dilakukan maka dapat dilanjutkan analisis daya dukung dan penurunan pondasi menggunakan *software* MIDAS GTS NX. Parameter tanah yang dibutuhkan tertera pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Parameter Tanah untuk *Software* MIDAS GTS NX

| Parameter                 | Simbol         | Lapisan 1        | Lapisan 2       | Lapisan 3   | Lapisan 4   | Lapisan 5   | Lapisan 6   | Lapisan 7   | Bored Pile | Satuan            |
|---------------------------|----------------|------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------------|
|                           |                | Lanau kelepungan | Lanau kepasiran | Pasir padat | Pasir lepas | Pasir padat | Pasir padat | Pasir padat |            |                   |
| Type of material behavior | Type           | Undrained (A)    | Undrained (A)   | Drained     | Drained     | Drained     | Drained     | Drained     | Drained    | -                 |
| Berat volume              | $\gamma$       | 16,428           | 16,795          | 16,616      | 16,546      | 16,871      | 16,702      | 12,790      |            |                   |
| Berat volume jenuh        | $\gamma_{sat}$ | 16,566           | 18,337          | 18,189      | 18,071      | 18,659      | 18,402      | 18,703      | 25         | kN/m <sup>3</sup> |
| Angka pori                | $e$            | 1,431            | 0,946           | 0,983       | 1,026       | 0,886       | 0,941       | 0,882       | -          | -                 |
| Modulus elastisitas       | $E$            | 12000            | 18000           | 60000       | 40000       | 80000       | 85000       | 95000       | 25742960   | kN/m <sup>2</sup> |
| Poisson ratio             | $\nu$          | 0,33             | 0,35            | 0,4         | 0,3         | 0,4         | 0,4         | 0,4         | 0,3        | -                 |
| Kohesi                    | $c$            | 75               | 150             | 15          | 10          | 15          | 15          | 15          | -          | kN/m <sup>2</sup> |
| Sudut geser               | $\phi$         | 5                | 5               | 47          | 35          | 50          | 50          | 50          | -          | °                 |

Setelah itu melakukan perbandingan antara daya dukung dan penurunan pondasi menggunakan metode empiris dengan daya dukung dan penurunan pondasi menggunakan *software* MIDAS GTS NX.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perencanaan Pondasi Jembatan pada P5

Berdasarkan perhitungan analisis beban yang akan dipikul oleh pondasi adalah sebesar 22661,343 kN. Untuk menopang beban tersebut direncanakan dimensi *pier*

untuk meneruskan beban struktur atas ke pondasi, maka dari itu perlu direncanakan *pier* yang akan digunakan. Untuk mendapatkan desain *pier* digunakan metode perhitungan numerik dengan tujuan dapat mengetahui apakah desain ini dapat kuat menopang beban yang direncanakan. Setelah dilakukan analisis perhitungan numerik, maka didapatkan desain *pier* sebagai berikut:

Diameter *Pier* = 2,0 m

Tinggi *Pier* = 5,777 m

Jarak antar as *Pier* = 7,62 m

Setelah dilakukan analisis kekuatan

dimensi *pier* menggunakan metode perhitungan numerik didapatkan hasil bahwa desain struktur *pier* mampu dengan aman menahan beban aksial, beban horizontal, dan momen yang direncanakan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain struktur *pier* ini aman untuk digunakan serta akan digunakan sebagai acuan perhitungan daya dukung dan penurunan tiang kelompok selanjutnya.

#### Daya Dukung dan Penurunan Group Bored Pile Metode Empiris

Setelah mengetahui bahwa dimensi *pier* rencana dapat menopang beban struktur atas, maka dibuat asumsi desain perencanaan pondasi *bored pile* sebagai berikut:

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| Jenis Pondasi  | = Bored Pile    |
| Diameter tiang | = 0,8 m & 1,0 m |
| Kedalaman      | = 12 m          |
| Mutu Beton     | = Fc 30 MPa     |

Selanjutnya dilakukan perhitungan daya dukung dan penurunan kelompok dari kedua desain alternatif diameter *bored pile* dengan menggunakan metode empiris yaitu berupa rumus Reese & Wright dan Reese & O'Neill, serta untuk penurunannya menggunakan rumus Poulos Davis dan Vesic. Maka dari itu didapatkan hasil rekapitulasi hasil perhitungan daya dukung dan penurunan *bored pile* sebagai berikut:

**Tabel 2.** Rekapitulasi Hasil Perhitungan Daya Dukung dan Penurunan Kelompok Bored Pile Metode Empiris

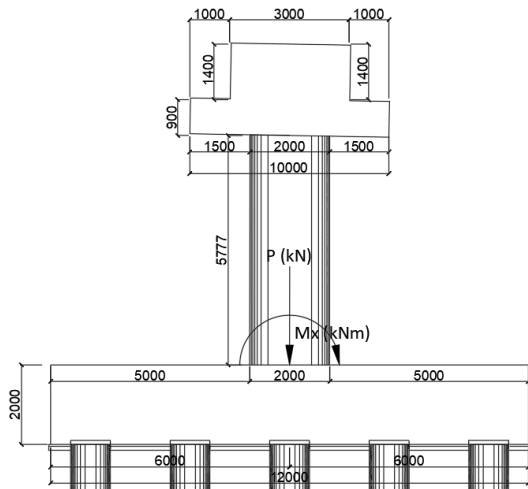
| Diameter bored pile                | 0,8 m                                   | 1,0 m                               |
|------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| Daya dukung ijin ( $Q_{all}$ )     | 2307,822 kN                             | 3026,640 kN                         |
| Angka keamanan (SF)                | 2                                       | 2                                   |
| Jumlah tiang (n)                   | 42                                      | 25                                  |
| Ukuran pile cap                    | $13,6 \times 11,6 \times 2 \text{ m}^3$ | $12 \times 12 \times 2 \text{ m}^3$ |
| Efisiensi pondasi ( $E_g$ )        | 0,736                                   | 0,750                               |
| Daya dukung kelompok ( $Q_g$ )     | 71374,381 kN                            | 56785,146 kN                        |
| Beban pada pondasi ( $P_{total}$ ) | 23505,743 kN                            | 3026,640 kN                         |
| Checking                           | $Q_g > P$ (OK)                          | $Q_g > P$ (OK)                      |
| Penurunan kelompok (S)             | 4,171 cm                                | 5,768 cm                            |
| Penurunan ijin ( $S_{ijin}$ )      | 15,133 cm                               | 15,167 cm                           |
| Checking                           | $S > S_{ijin}$ (OK)                     | $S > S_{ijin}$ (OK)                 |
| Volume Pekerjaan                   | 526,635 m <sup>3</sup>                  | 484,350 m <sup>3</sup>              |

Berdasarkan Tabel 2. Kapasitas daya dukung kelompok ( $Q_g$ ) tiang bor diameter 0,8 m dan 1,0 m diperoleh masing-masing sebesar 71374,382 kN dan 56785,146 kN. Untuk seluruh perhitungan daya dukung kelompok

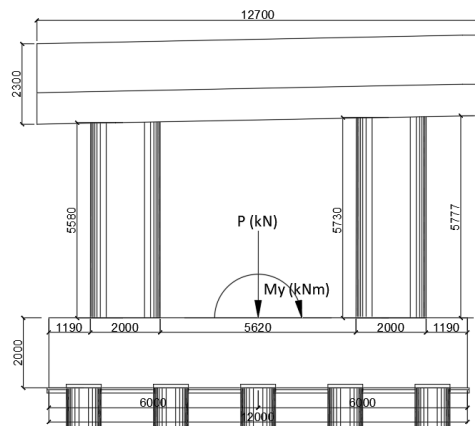
pondasi tiang bor ( $Q_g$ ) dinyatakan lebih besar dari beban yang diterima oleh pondasi ( $P_{total}$ ), selain itu perencanaan pondasi kelompok tiang berdiameter 1,0 m memiliki jumlah tiang yang lebih kecil dibandingkan dengan pondasi kelompok tiang berdiameter 0,8 m.

Pada perhitungan penentuan dimensi pile cap pondasi tiang bor dimensi 0,8 m dan 1,0 m berturut-turut sebesar  $13,6 \times 11,6 \times 2 \text{ m}^3$  dan  $12 \times 12 \times 2 \text{ m}^3$  dimana dimensi tersebut memenuhi kebutuhan penampang *pier* yaitu dengan lebar minimal 9,62 m. Pondasi dengan diameter bored pile 0,8 m dan 1,0 m memiliki penurunan kelompok (S) berturut-turut sebesar 4,171 cm dan 5,768 cm Dimana keduanya tidak lebih besar dari penurunan yang diizinkan sehingga aman digunakan. Pada perhitungan volume pekerjaan untuk masing-masing dimensi didapatkan hasil bahwa bored pile berdiameter 1 m memiliki volume pekerjaan lebih kecil dibanding bored pile berdiameter 0,8 m. Sehingga desain yang akan digunakan adalah pondasi bored pile berdiameter 1,0 m sebanyak 25 tiang dengan pile cap berukuran  $12 \times 12 \times 2 \text{ m}^3$ .

Jumlah *bored pile* yang didesain dalam satu *pilecap* adalah 25 buah. Pondasi *bored pile* ini berada dalam satu *pilecap* berukuran  $12 \times 12 \times 2 \text{ m}^3$  yang direncanakan untuk menopang 2 buah *pier* di atasnya berbentuk silinder berdiameter 2 m dengan tinggi 5,777 m yang desainnya terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 berikut. Dalam perhitungan distribusi beban pada tiap – tiap pondasi *bored pile* didapatkan hasil bahwa  $P_{maks}$  lebih kecil dari perhitungan daya dukung *single bored pile* sehingga desain rencana ini dapat digunakan.



**Gambar 2.** Desain Struktur Bawah P5 Arah Memanjang Jembatan (Sumbu X)



**Gambar 3.** Desain Struktur Bawah P5 Arah Melintang Jembatan (Sumbu Y)

### Daya Dukung dan Penurunan Group Bored Pile Metode MIDAS GTS NX

Dalam menganalisis daya dukung group bored pile digunakan desain yang diperoleh dari perhitungan metode empiris yaitu *boredpile* berdiameter 1,0 m dengan kedalaman 12 m serta dengan *pile cap* berukuran 12 x 12 x 2 m<sup>3</sup> yang selanjutnya diterapkan pada program MIDAS GTS NX. Dari perhitungan daya dukung dan penurunan pondasi dengan menggunakan metode empiris dan dengan *software* MIDAS GTS NX maka diperoleh rekapitulasi yang tertera pada Tabel 3 berikut.

**Tabel 3.** Rekapitulasi Nilai Daya Dukung dan Penurunan Pondasi P5

| Metode      | Empiris      | MIDAS GTS NX |
|-------------|--------------|--------------|
| Daya dukung | 56785,146 kN | 45514,535 kN |
| Penurunan   | 5,768 cm     | 6,556 cm     |

Berdasarkan Tabel 3 dengan metode empiris memiliki nilai daya dukung pondasi sebesar 56785,146 kN dan penurunan pondasi sebesar 5,768 cm sedangkan dengan *software* MIDAS GTS NX memiliki nilai daya dukung pondasi sebesar 45514,535 kN dan penurunan pondasi sebesar 6,556 cm yang dimana daya dukung kelompok *bored pile* dengan MIDAS GTS NX 19,848 % lebih kecil terhadap perhitungan empiris dan penurunannya 12,020% lebih besar terhadap perhitungan empiris. Menurut Susantyo et al. (2022) daya dukung aksial dari MIDAS GTS NX menggunakan model Mohr-Coulomb 14.11% lebih kecil terhadap perhitungan teoritis. Sehingga untuk perhitungan metode MIDAS GTS NX dapat digunakan karena nilai yang dihasilkan mendekati metode empiris.

### KESIMPULAN

Berdasarkan studi yang telah dilakukan dengan menganalisis daya dukung dan penurunan kelompok menggunakan metode empiris dan MIDAS GTS NX, maka diperoleh desain pondasi *bored pile* untuk pondasi jembatan P5. Pondasi tersebut memiliki diameter 1,0 m dengan panjang 10 m dan pilecap berukuran 12 x 12 x 2 m<sup>3</sup>.

### Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada PT. Adhi Karya pada Proyek Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Seksi 1 Paket 1.1 (STA 0+000 s.d. 22+300) yang telah mendukung dan membantu dalam memberikan data maupun informasi untuk tujuan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2016. *Standar Pembebanan untuk Jembatan*. SNI 1725-2016. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. SNI 8460: 2017. Jakarta

- Bowles, J. E. 1997. *Foundation Analysis and Design. Civ. Eng. Mater.*
- Clayton, C.R.I. 1990. *SPT Energy Transmission: Theory. Measurement and Significance.* Ground Engineering, December 1990.
- Fauzhan, M. I., F. I. Ginting, and M. Maburur. 2021. "Perencanaan Pondasi Tiang Bor (Bore Pile) Sebagai Alternatif Pondasi Pada Pekerjaan Penggantian Jembatan Simamora." *Pros. Konf. Nas.*, 222–231.
- Poulos, H. G., and E. H. Davis. 1980. *Pile Foundation Analysis and Design.* Canada: Rainbow-Bridge Book Co.
- Rahardjo, P. 2013. "Buku Manual Pondasi Tiang."
- Reese, L. C., and S. J. Wright. 1977. *Drilled Shaft Manual Volume I: Construction Procedures and Design for Axial Loading.* U.S. Dept. Transp. Implement. Div. HDV-22, Implement. Packag.
- Sari, D., B. Pasaribu, J. Sarifah,. Analisa Daya Dukung Bored Pile Pada Proyek Pembangunan Jembatan Ka Bh. 38 Di Baja Linggei Kabupaten Serdang Bedagai. *Cetak Bul. Utama Tek.*, 16 (2): 1410–4520.
- Skempton, A.W., 1986, *The Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging, and Overconsolidation.*, Geotechnique, Vol. 36, No. 3, pp.425 – 447.
- Susantyo, C. A., J. Fabian, and L. D. K. Manaroinson. 2022. Analisis Tiang Bor Pada Struktur Pylon Jembatan Menggunakan Midas GTS NX ( Studi Kasus : Jembatan Ir . Soekarno Manado ). 20.