

Perbandingan fondasi tiang bor dengan tiang pancang pada abutmen jembatan (studi kasus: Jembatan Surah)

Siti Nur Aulia¹, Suharyatma^{1*}, Anisa Nur Amalina¹, Hanindya Kusuma Artati¹

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Strong ground support
Bridge loading
N-SPT

Corresponding Author:

Suharyatma
suharyatmo@uii.ac.id

Abstract

The ongoing toll road development is the Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo Toll Road Project which aims to reduce congestion on the main roads and support economic improvement in an area, especially Central Java and DI Yogyakarta. In this project several connecting bridges were built to avoid rivers and cultural heritage, one of which is the Surah Bridge. In supporting a bridge, a bridge foundation is needed which functions to distribute the load from the overlying structure to the supporting soil layer below without a decrease in the structural system. This research was conducted on the Solo-Yogya-NYIA Kulon Progo Toll Road Project Section 1 Package 1.1 Solo-Klaten, specifically on the Surah Bridge STA 12+195 using secondary data from PT Adhi Karya (Persero) Tbk. This study aims to determine the weight of the load acting on the bridge, the bearing capacity, and the foundation that is more effectively and efficiently used in receiving the loading of the Surah Bridge. The results obtained from this study are the loading on the Surah Bridge with a vertical load of 6776,29 tons. The bearing capacity (Qall) of the Drill Pile based on the Reese & Wright Method is 589.37 Tons and the Skempton Method is 476.55 Tons. The bearing capacity (Qall) of the Pile based on the U.S. Army Corps Method is 439.64 Tons and the Tomlinson Method is 630.10 Tons. The more effective and efficient foundation used on the Surah Bridge is the pile foundation using the calculation of the Tomlinson Method because the number of pile uses can be minimized.

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Informasi Umum

Pembangunan jalan tol merupakan salah satu upaya pemerintah untuk meningkatkan mobilitas masyarakat di Indonesia, baik dari segi ekonomi maupun sosial. Provinsi Jawa Tengah dan DI Yogyakarta menjadi wilayah penting dalam mendukung ekonomi wisata nasional, terutama dengan adanya bandara baru Yogyakarta International Airport. Untuk itu, diperlukan infrastruktur pendukung berupa jalan tol yang dapat mempermudah akses menuju berbagai destinasi.

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol, jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian dari

sistem jaringan jalan nasional dan penggunaannya diwajibkan membayar tol. Salah satu proyek strategis yang sedang berjalan adalah Proyek Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo. Proyek ini bertujuan untuk mengurangi kemacetan di ruas utama serta meningkatkan perekonomian di Jawa Tengah dan DI Yogyakarta. Jalan tol ini direncanakan sepanjang 97-kilometer untuk memudahkan aksesibilitas dari dan menuju New Yogyakarta International Airport di Kulon Progo.

Sebagai bagian dari proyek ini, dibangun beberapa jembatan penghubung untuk menghindari sungai dan cagar budaya. Salah satu jembatan tersebut adalah Jembatan Surah.

Jembatan berfungsi menghubungkan jalan yang melintasi sungai, saluran air, lembah, atau jalan lain dengan perbedaan ketinggian permukaan. Fondasi merupakan elemen penting dalam menopang jembatan karena berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah pendukung di bawahnya, tanpa menyebabkan penurunan yang signifikan pada sistem struktur.

Pembebanan jembatan berdasarkan SNI 1725-2016 dilakukan untuk mengetahui kapasitas daya dukung fondasi tiang bor dengan menggunakan metode Reese & Wright dan metode Skempton. Daya dukung fondasi tiang pancang dengan menggunakan metode U.S. Army Corps dan metode Tomlinso juga dilakukan untuk mengetahui jenis fondasi yang lebih efektif dan efisien dalam menerima pembebanan dari Jembatan Surah.

Metode Penelitian

Analisis pembebanan jembatan dilakukan berdasarkan SNI 1725-2016 sehingga didapatkan berat beban yang dihasilkan jembatan agar dapat menentukan dimensi fondasi. Selanjutnya, daya dukung izin fondasi, kapasitas dukung kelompok tiang, dan analisis beban yang diterima setiap tiang dihitung dengan Metode Reese & Wright, Metode Skempton, Metode Tomlinson dan Metode U.S. Army Corps.

Lokasi Penelitian

Lokasi dalam penelitian ini berada di Desa Semangkek, Kecamatan Klaten Tengah, Kabupaten Klaten. Gambar 1. menunjukkan lokasi Jembatan Surah yang berada di sekitar Kali Sorah.



Gambar 1. Peta Lokasi Jembatan Surah
(Sumber : Google Maps)

Data

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa data pengujian tanah di lapangan (N-SPT) dan *shop drawing* Jembatan Surah.

Landasan Teori

Pembebanan Jembatan

Jembatan jalan raya sebagai elemen penting dalam sistem transportasi darat harus dapat menahan beban lalu lintas yang akan terjadi sesuai dengan umur rencana. Jembatan terdiri dari dua bagian utama struktur, yaitu struktur atas (*super structure*) dan struktur bawah (*substructure*). Beban-beban yang bekerja pada Jembatan Surah berdasarkan SNI 1725-2016

Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang Bor

Kapasitas daya dukung fondasi merupakan kemampuan tiang dalam mendukung beban fondasi dari struktur di atasnya yang dinyatakan dengan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat beban yang diterima oleh fondasi. Kapasitas daya dukung ijin (Q_{all}) dihitung dengan Persamaan 1 dan Persamaan 2 berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (2)$$

dengan,

Q_u = Tahanan ultimit (kN),

Q_p = Tahanan ujung (kN),

Q_s = Tahanan selimut (kN),

SF = Angka keamanan = 2.

Tahanan ujung dan tahanan selimut pada Metode Reese & Wright dihitung dengan Persamaan 1 – 6.

$$Q_p = q_p \times A_p \quad (3)$$

$$q_p = N_c \times C_u \quad (4)$$

$$Q_s = fs \times A_s \times t \quad (5)$$

$$fs = \alpha \times C_u \quad (6)$$

dengan,

q_p = Daya dukung tanah (kN/m²),

A_p = Luas penampang dasar (m²),

N_c = Faktor kapasitas dukung = 9,

C_u = Nilai kohesi dasar tiang,

- f_s = Adhesi antara tiang dan tanah (kN/m^2),
- A_s = Keliling tiang (m),
- t = Panjang tiang (m),
- α = Faktor adhesi = 0,55.

Tahanan ujung dan tahanan selimut pada Metode Skempton dihitung dengan Persamaan 7 dan Persamaan 8 berikut.

$$Q_p = q_p \times A_p \times \mu \tag{7}$$

$$f_s = \alpha \times C_u \tag{8}$$

dengan,

- μ = Faktor koreksi = 0,80 untuk $d < 1$ m
- = 0,75 untuk $d > 1$ m,
- α = Faktor adhesi = 0,45.

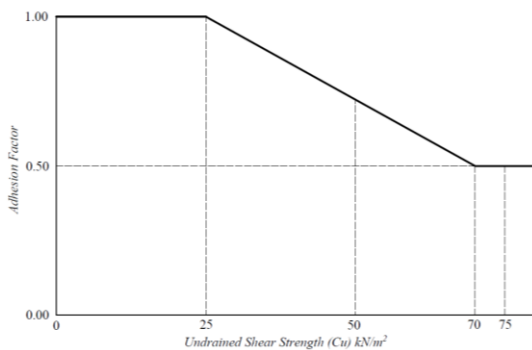
Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang

Kapasitas daya dukung ijin (Q_{all}) dihitung dengan Persamaan 9 berikut.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \tag{9}$$

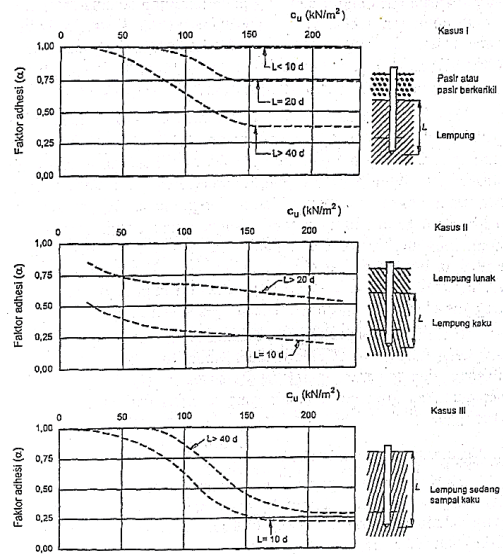
Dengan SF = Angka keamanan = 2,5

Nilai faktor adhesi pada Metode *U.S. Army Corps* diambil dari Grafik Kuat Geser *Undrained* berikut.



Gambar 2. Grafik Kuat Geser *Undrained* (Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Nilai faktor adhesi pada Metode *Tomlinson* diambil dari Grafik Hubungan antara Faktor Adhesi dan Kohesi berikut.



Gambar 3. Grafik Hubungan antara faktor Adhesi dan Kohesi (Sumber : Hardiyatmo, 2002)

Beban yang Diterima Tiang

Reaksi tiang pada suatu kelompok tiang dalam menerima suatu beban tidaklah sama. Menurut Hardiyatmo (2018), jika momen bekerja di kedua arah, maka beban aksial satu tiang pada kelompok tiang dapat dihitung menggunakan Persamaan 10 berikut.

$$P_{maks} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_{xx} x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_{yy} y_i}{\sum y^2} < Q_{all} \tag{10}$$

dengan,

- P_{maks} = Beban maksimal (kN),
- x, y = Jarak tiang terhadap sumbu x dan y,
- P = Jumlah beban vertikal yang bekerja,
- M_x = Momen pada sumbu x (kNm),
- M_y = Momen pada sumbu y (kNm).

Analisis Perhitungan

Data Teknis Struktur Jembatan

Jembatan Surah memiliki 2 *abutment* yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Analisis Pembebanan

Pembebanan jembatan terdiri dari beban permanen, beban lalu lintas, beban aksi

lingkungan, dan beban aksi lainnya. Hasil rekapitulasi pembebanan dan kombinasi beban jembatan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Rekapitulasi Pembebanan Jembatan

No.	Beban	Kode	Vertikal	Horizontal		Momen	
			<i>P</i>	<i>T_x</i>	<i>T_y</i>	<i>M_x</i>	<i>M_y</i>
			Ton	Ton	Ton	Tm	Tm
A Beban Permanen							
1	Berat Sendiri	<i>MS</i>	5837,44			11496,34	
2	Beban Mati Tambahan	<i>MA</i>	36,03				
3	Tekanan Tanah Aktif	<i>TA</i>		-578,42		1315,65	
B Beban Lalu Lintas							
3	Beban Lajur "D"	<i>TD</i>	153,07				
4	Gaya Rem	<i>TB</i>		-17,40			
C Beban Aksi Lingkungan							
5	Beban Angin Struktur	<i>EW_s</i>			11,21		125,01
6	Beban Angin Kendaraan	<i>EW_L</i>	4,81				
7	Beban Gempa Vertikal	<i>EQ_v</i>	744,94				
8	Beban Gempa Arah x	<i>EQ_x</i>		-389,02		-3577,05	
9	Beban Gempa Arah y	<i>EQ_y</i>			264,85		2435,26
D Beban Aksi Lainnya							
10	Gesekan Perletakan	<i>BF</i>		-124,88		-3577,05	

Tabel 3. Kombinasi Beban dan Faktor Beban pada *Abutment*

Keadaan BATAS	<i>MS</i> <i>MA</i>	<i>TD</i> <i>TB</i>	<i>EW_s</i>	<i>EW_L</i>	<i>EQ</i>	<i>BF</i>
KUAT I	γ _p	1,80	-	-	-	1,00
KUAT II	γ _p	1,40	-	-	-	1,00
KUAT III	γ _p	-	1,40	-	-	1,00
KUAT IV	γ _p	-	-	-	-	1,00
KUAT V	γ _p	-	0,40	1,00	-	1,00
EKSTREM I	γ _p	γ _{EQ}	-	-	1,00	1,00
EKSTREM II	γ _p	0,50	-	-	-	1,00
LAYAN I	1,00	1,00	0,30	1,00	-	1,00
LAYAN II	1,00	1,30	-	-	-	1,00
LAYAN III	1,00	0,80	-	-	-	1,00
LAYAN IV	1,00	-	0,70	-	-	1,00
FATIK	-	0,75	-	-	-	-

Lapisan tanah

Perhitungan daya dukung pondasi ini ditinjau berdasarkan data parameter tanah. Data parameter tanah ini dilakukan untuk mendapatkan data karakteristik kondisi tanah tiap lapisan sehingga dapat menghitung daya dukung pondasi tiang pancang maupun tiang bor. Data tanah digunakan pada rencana pondasi tiang sedalam 28 m berdasarkan data N-spt.

Diameter pondasi tiang rencana 1 m dengan menggunakan tiang pancang dan tiang bor. Nilai *Cu* pada perhitungan didapatkan dari grafik Gambar 2 dan Gambar 3. Data lapisan tanah yang ditinjau ditunjukkan pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Lapisan tanah

Kedalaman m	Jenis Tanah	Tebal m	N-SPT blows/30 cm
2,00	Tanah liat berpasir	2,00	25
3,00	Pasir halus berlanau	1,00	25
3,55	Pasir halus	0,55	8
7,55	Lanau elastis dengan pasir	4,00	63
10,00	Pasir berlumpur	2,45	69
16,00	Kerikil	6,00	100
19,00	Tanah liat	3,00	20
21,00	Pasir	2,00	80
21,30	Tanah liat keras	0,30	55
30,00	Tanah liat	8,70	35

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung (Q_{all}) Fondasi Tiang Pancang

Perhitungan kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang menggunakan Metode *U.S. Army Corps* dan Metode *Tomlinson* dengan diameter 1 meter, ujung tiang bor berada di kedalaman 28 m sehingga digunakan nilai C_u sebesar 235 kN/m². Hasil dari analisis perhitungan kapasitas daya dukung fondasi tiang bor dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8.

Tabel 4. Tahanan Ujung (Q_p)

Metode	Q_p	Satuan
U.S. Army Corps	1660,28	kN
Tomlinson	1660,28	kN

Tabel 5. Tahanan Selimut (Q_s)

Metode	Q_s	Satuan
U.S. Army Corps	9330,82	kN
Tomlinson	14092,32	kN

Tabel 6. Daya Dukung Ultimit (Q_u)

Metode	Q_u	Satuan
U.S. Army Corps	10991,10	kN
Tomlinson	15752,60	kN

Tabel 7. Tahanan Selimut Tiang Bor

Metode	Q_{all}	Satuan
U.S. Army Corps	439,64	Ton
Tomlinson	630,10	Ton

Tabel 8. Rekapitulasi Kapasitas Daya Dukung Ijin (Q_{all})

No.	Metode	Q_{all} (Ton)
A Pondasi Tiang Bor		
1	<i>Reese & Wright</i>	589,37
2	<i>Skempton</i>	476,55
B Pondasi Tiang Pancang		
3	<i>U.S. Army Corps</i>	439,64
4	<i>Tomlinson</i>	630,10

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok (Q_g)

Nilai kapasitas kelompok tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tunggal yang berada dalam kelompoknya. Dipengaruhi oleh jumlah dan jarak antar tiang. Hasil dari analisis kapasitas daya dukung kelompok dapat dilihat pada Tabel 9 berikut. Dengan menggunakan diameter dan jumlah tiang yang sama, didapatkan hasil bahwa pondasi tiang pancang Metode *Tomlinson* lebih optimal untuk menahan pembebanan yang diberikan oleh Jembatan Surah dengan hasil perbandingan yang cukup jauh, yaitu 1,32 kali lebih besar dari Q_g pada tiang bor Metode *Reese & Wright*.

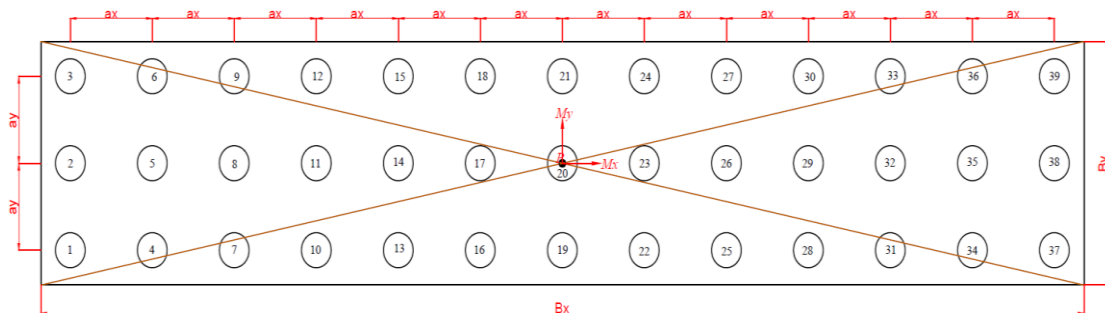
Tabel 9. Kapasitas Daya Dukung Kelompok (Q_g)

No.	Metode	Q_{all} / P_{izin} (Ton)
A Pondasi Tiang Bor		
1	<i>Reese & Wright</i>	14939,46
2	<i>Skempton</i>	12079,73
B Pondasi Tiang Pancang		
3	<i>U.S. Army Corps</i>	11144,18
4	<i>Tomlinson</i>	15971,99

Analisis Beban yang Diterima Fondasi

Fondasi dinyatakan mampu menerima pembebanan maksimum yang diberikan oleh Jembatan Surah karena telah memenuhi persyaratan, yaitu $P_{maks} < Q_{all}$. Denah fondasi yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Gambar dan memiliki spesifikasi ukuran sebagai berikut.

- Jumlah tiang arah x (n_x) = 13 buah
- Jumlah tiang arah y (n_y) = 3 buah
- Jarak as tiang arah x (a_x) = 2,78 m
- Jarak as tiang arah y (a_y) = 2,50 m



Gambar 6. Denah Pondasi Tiang Bor dan Tiang Pancang

Hasil dan Pembahasan

Kapasitas Daya Dukung (Q_{all})

Kapasitas daya dukung ijin terbesar dari masing-masing jenis fondasi yaitu pada fondasi tiang bor menggunakan nilai dari Metode *Reese & Wright* sebesar 589,37 Ton dan tiang pancang menggunakan Metode *Tomlinson* sebesar 630,10 Ton. Fondasi tiang pancang memiliki kemampuan yang lebih optimal dalam mendukung beban yang diterimanya dengan perbandingan 1 : 1,07.

Kapasitas Daya Dukung Kelompok (Q_a)

Dengan menggunakan diameter dan jumlah tiang yang sama, didapatkan hasil bahwa fondasi tiang pancang Metode *Tomlinson* lebih optimal untuk menahan pembebanan yang diberikan oleh Jembatan Surah dengan hasil perbandingan yang cukup jauh, yaitu 1,32Qg Tiang Bor Metode *Reese & Wright*.

Jumlah Tiang yang Digunakan Berdasarkan Nilai Pembebanan Vertikal (P) dan Kapasitas Daya Dukung Ijin (Q_{all})

Jumlah tiang yang didapatkan berdasarkan berat beban vertikal (P) dan kapasitas daya dukung ijin (Q_{all}) tidak sebanyak jumlah yang direncanakan oleh proyek yang ditinjau. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Faktor- faktor lain yang tidak dimasukkan dalam perhitungan pembebanan pada penelitian ini,
2. Perbedaan metode-metode yang digunakan pada perhitungan kapasitas daya dukung ijin fondasi,
3. Faktor likuifaksi sehingga pada kedalaman tanah tertentu diabaikan.

Hasil Perbandingan

Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa penggunaan Fondasi Tiang Pancang lebih optimal dan efisien dibandingkan dengan Fondasi Tiang Bor. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan hasil Kapasitas Dukung Kelompok pada setiap jenis fondasi. Dilakukan pengurangan jumlah tiang namun dengan diameter dan kedalaman yang sama pada penggunaan Tiang Pancang.

Tujuan dari pengurangan jumlah tiang tersebut adalah untuk mengetahui apakah fondasi-fondasi tersebut tetap aman terhadap pembebanan dari jembatan yang diterimanya. Pengurangan dari jumlah tiang fondasi tersebut berpengaruh terhadap jarak antar tiangnya sehingga efisiensi kelompok tiang semakin besar serta dapat menghemat biaya dan waktu pelaksanaan di lapangan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil. Pertama, beban-beban yang bekerja pada Jembatan Surah meliputi Berat Sendiri (MS), Beban Mati Tambahan (MA), Tekanan Tanah Aktif (TA), Beban Lajur (TD), Gaya Rem (TB), Beban Angin (EW), dan Beban Gempa (EQ). Mengacu pada SNI 1725-2016, nilai beban vertikal yang didapatkan sebesar 6776,29 ton, gaya momen x sebesar 5657,89 Tm, dan gaya momen y sebesar 2560,27 Tm. Kedua, kapasitas daya dukung (Q_{all}) pada fondasi tiang bor berdasarkan Metode *Reese & Wright* adalah 589,37 ton, sedangkan

dengan Metode Skempton adalah 476,55 ton. Ketiga, kapasitas daya dukung (Qall) pada fondasi tiang pancang menggunakan Metode U.S. Army Corps adalah 439,64 ton, sementara dengan Metode Tomlinson adalah 630,10 ton. Keempat, fondasi yang lebih efektif dan efisien untuk digunakan pada Jembatan Suruh adalah fondasi tiang pancang dengan menggunakan perhitungan dari Metode Tomlinson. Hal ini disebabkan oleh kapasitas dukung kelompok tiang pancang yang lebih besar dibandingkan dengan tiang bor, sehingga jumlah tiang yang diperlukan dapat diminimalisir..

Ucapan Terima Kasih

Dalam penyusunan naskah publikasi ini, penulis ingin memberikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu, yaitu kepada PT. Adhi Karya (Persero) Tbk. selaku Kontraktor dari Proyek Tol Solo-Yogya-NYIA Kulon Progo Seksi 1 Paket 1.1 Solo-Klaten.

Daftar Pustaka

- American Concrete Institute (ACI) Committee. (2005). Building code requirements of the structural concrete. New York, NY: Author.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). SNI-2833-2016 Perencanaan jembatan terhadap gempa. Jakarta, Indonesia: Badan Standarisasi Nasional.
- Bowles, E. J. (1997). Analisis dan desain fondasi. Jakarta, Indonesia: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1991). Analisa dan desain fondasi: Edisi ketiga jilid 2. Jakarta, Indonesia: Erlangga.
- Das, B. M. (1995). Mekanika tanah (Prinsip-prinsip rekayasa geoteknis) Jilid I. Jakarta, Indonesia: Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1971). Peraturan beton bertulang Indonesia 1971 (PBI 1971). Bandung, Indonesia: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Fairuza, N. (2021). Analisis perbandingan fondasi tiang pancang dengan fondasi tiang bor proyek gedung Hotel Neo Malang. Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). Analisis dan perancangan fondasi II. Yogyakarta, Indonesia: Gajah Mada University Press.

- Indonesia, R. (2005). Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol. Jakarta, Indonesia: Pemerintah RI.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). Pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016). Jakarta, Indonesia: Badan Standarisasi Nasional.
- Pemerintah Indonesia. (2004). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan. Jakarta, Indonesia: Pemerintah Republik Indonesia.
- Sari, D., Pasaribu, B., & Sarifah, J. (2021). Analisa daya dukung bored pile pada proyek pembangunan Jembatan Ka Bh. 38 di Baja Linggei Kabupaten Serdang Bedagai. Buletin Utama Teknik, 16(2), 103-112.
- Wahyuddin, M. (2019). Analisis dan perencanaan fondasi tiang bored pile pada jembatan jalur ganda kereta api Bekri Kabupaten Lampung Tengah (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Herman, H. W. (2019). Analisis kapasitas dukung fondasi tiang pancang dan tiang bor pada tanah lempung berdasarkan pembebanan jembatan SNI 1726-2016 (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Fathurahman, I. (2022). Perencanaan struktur Jembatan Kiringan menggunakan rangka baja tipe Warren (Structural planning of Kiringan Bridge using Warren type steel frame).