

PERENCANAAN ULANG FONDASI TIANG PANCANG PADA ABUTMENT JEMBATAN KOLONEL SUNANDAR KAB. DEMAK-KUDUS JAWA TENGAH

Agus Susanto¹, Renaningsih², Diocta Ichi Puteri P.³

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

³ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: as240@ums.ac.id

Abstrak

Jembatan merupakan konstruksi yang menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan - rintangan seperti lembah, alur sungai, danau, saluran irigasi, jalan kereta api, dan jalan raya tidak sebidang. Struktur jembatan dibagi menjadi dua bagian, yaitu struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas mendukung beban langsung seperti beban mati, beban hidup, beban truk "T", beban pejalan kaki, dan berat sendiri. Bagian struktur atas meliputi trotoar, slab lantai kendaraan, gelagar, balok diafragma, ikatan pengaku, dan tumpuan, sedangkan pada struktur bawah terdiri dari abutment, pilar, dan fondasi yang berfungsi menyalurkan seluruh beban dari struktur atas ke tanah dasar. Pembangunan jembatan Kolonel Sunandar merupakan upaya pemerintah dalam memperlancar arus lalu lintas dan meningkatkan laju perekonomian daerah Pantura Timur Jawa Tengah dengan menghubungkan dua kabupaten yaitu Kabupaten Demak dan Kabupaten Kudus. Jembatan ini melintangi sungai Wulan dengan panjang bentang 170 m dan lebar 10,55 m terdiri atas 4 abutment dan 2 pilar. Jenis pondasi yang dipakai untuk mendukung pilar dan abutmentnya berupa fondasi tiang pancang. Fondasi tiang pancang merupakan bagian dari struktur bawah yang harus mampu menahan seluruh beban di atasnya, oleh karena itu perlu direncanakan dengan teliti. Penelitian ini difokuskan pada perencanaan ulang fondasi tiang pancang pada abutment jembatan tersebut di atas dengan faktor aman (SF) = 2. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya beban aksial pondasi tiang pada jembatan, nilai daya dukung tiang tunggal dan menentukan jumlah tiang yang dibutuhkan untuk menahan beban aksial total. Analisis kapasitas dukung tiang dilakukan dengan metode statis tipe kombinasi antara end bearing dan friction pile. Hasil dari perencanaan ini dapat diketahui bahwa beban aksial total yang harus dipikul oleh fondasi tiang pancang pada abutment Jembatan Kolonel Sunandar adalah sebesar 14454,696 kN, nilai kapasitas dukung ultimit tiang tunggal (Q_u) tiang pancang dengan diameter 0,7 m sebesar 2943,124 kN dengan kapasitas dukung ijin (Q_a) sebesar 1471,562 kN. Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan untuk menahan beban aksial total adalah sebanyak 15 tiang dengan kapasitas dukung kelompok tiang (Q_g) sebesar 14618,132 kN lebih besar dari beban aksial total. Dengan demikian fondasi tiang pancang hasil perencanaan aman.

Kata Kunci : *abutment; end bearing dan friction pile; fondasi tiang pancang; kapasitas dukung tiang.*

Pendahuluan

Jembatan terdiri atas bagian bawah dan bagian atas, bagian bawah memikul atau mendukung bagian atas jembatan dan meneruskan beban bagian atas beserta beban lalu lintasnya kepada dasar tanah. Bagian atas jembatan meliputi trotoar, slab lantai kendaraan, gelagar, balok diafragma, ikatan pengaku, dan tumpuan. Sedangkan pada bagian bawah jembatan terdiri atas pangkal jembatan (*abutment*), pilar jembatan (*pier*), dan fondasi. Jembatan harus dibuat dengan konstruksi yang kuat agar dapat dipergunakan dengan aman dan nyaman.

Pembangunan Jembatan Kolonel Sunandar yang menghubungkan Kabupaten Demak dengan Kabupaten Kudus merupakan salah satu upaya pemerintah melalui Kementerian Pekerjaan Umum untuk memperlancar arus lalu lintas sehingga diharapkan dapat meningkatkan laju perekonomian di daerah Pantura Timur Jawa Tengah. Jembatan Kolonel Sunandar yang melintangi sungai Wulan mempunyai panjang bentang 170 m dan lebar 10,55 m, sementara panjang oprit di masing – masing sisi ujung jembatan adalah 210 m. Terdiri dari 4 *abutment* dan 2 pilar. Struktur

jembatan ini menggunakan *Steel I Girder* pertama dan satu-satunya di Jawa Tengah, karena jembatan lain pada umumnya menggunakan struktur *steel truss*. Jembatan Kolonel Sunandar memiliki *abutment* dan pilar yang ditopang oleh fondasi tiang pancang.

Penelitian ini akan difokuskan pada perencanaan ulang fondasi tiang pada *abutment* Jembatan Kolonel Sunandar dengan menggunakan tiang pancang diameter 0,7 m dengan metode statis tipe kombinasi antara *end bearing* dan *friction pile*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai beban aksial total yang harus ditahan oleh fondasi tiang pancang pada *abutment*, nilai kapasitas dukung tiang tunggal, dan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan agar dapat menahan beban total aksial.

Metode Penelitian

Penelitian ini berupa perencanaan ulang pondasi tiang pancang dengan menggunakan data sekunder berupa data tanah hasil dari hasil pengujian Standard Penetration Test (SPT) dan *bore log* pada lokasi proyek pembangunan Jembatan Kolonel Sunandar Kab. Demak-Kudus, Jawa Tengah.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, pada tahap pertama dilaksanakan studi literatur untuk mencari informasi yang relevan dengan topik yang diteliti dari jurnal, artikel, maupun buku literature.

Tahap kedua dilaksanakan pengumpulan data teknis jembatan dan data tanah lokasi proyek. Data teknis jembatan berupa gambar rencana struktur jembatan dan detail gambarnya. Data tanah yang digunakan merupakan data sekunder yang didapatkan dari PT. Duta Mas Indah selaku pelaksana proyek pembangunan Jembatan Kolonel Sunandar yang meliputi : data *Bore Log* dan data hasil uji SPT.

Tahap ketiga dilakukan perhitungan beban struktur atas jembatan berdasarkan pedoman pembebanan jembatan SNI-T-02-2005. Tahap ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai beban aksial total yang harus ditahan oleh pondasi tiang pancang pada *abutment* Jembatan Kolonel Sunandar.

Pada tahap keempat dilakukan perhitungan analisis kapasitas dukung tiang pancang berdasarkan data hasil uji SPT Jembatan Kolonel Sunandar.

Kapasitas dukung ultimate tiang tunggal (Q_u) dihitung dengan persamaan berikut

$$Q_u = Q_b + Q_s \tag{1}$$

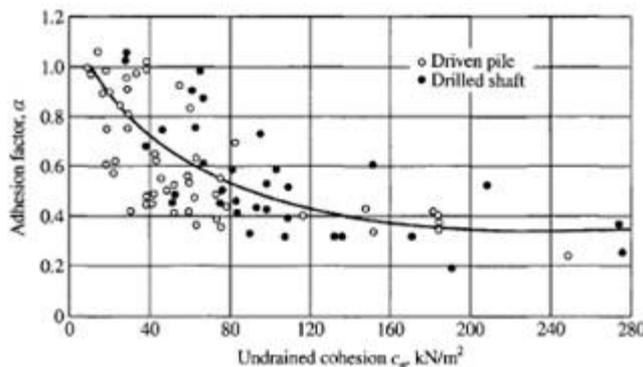
$$Q_b = A_b \cdot C_b \cdot N_c \tag{2}$$

- Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang (kN)
- Q_b = Tahanan ujung tiang (kN)
- A_b = Luas penampang ujung bawah (m^2)
- C_b = Kohesi pada kondisi undrained (kN/m^2)
- N_c = Faktor daya dukung (diambil bilangan Skempton (1959) =9)

$$Q_s = a_d \cdot c_u \cdot A_s \tag{3}$$

- Q_s = Tahanan gesek selimut tiang (kN)
- a_d = faktor adhesi
- c_u = kohesi tanah pada kondisi tanpa drainase
- A_s =Luas selimut tiang (m^2)

Nilai faktor adhesi (a_d) dipengaruhi oleh nilai kohesi tak terdrainase (c_u) dan dapat tentukan berdasarkan grafik pada Gambar 1.



Gambar 1 Grafik hubungan antara nilai kohesi tak terdrainase (c_u) dan faktor adhesi (a_d)

Kapasitas dukung ijin tiang tunggal (Q_a) dihitung dengan persamaan berikut

$$Q_a = \frac{Qu}{SF} \tag{4}$$

Kapasitas dukung kelompok tiang dihitung dengan memperhatikan faktor efisiensi kelompok tiang yang dinyatakan dengan persamaan berikut

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a \tag{5}$$

- Q_g = Kapasitas dukung kelompok tiang.
- E_g = Efisiensi kelompok tiang.
- N = Jumlah tiang dalam kelompok.
- Q_a = kapasitas dukung ijin tiang tunggal.

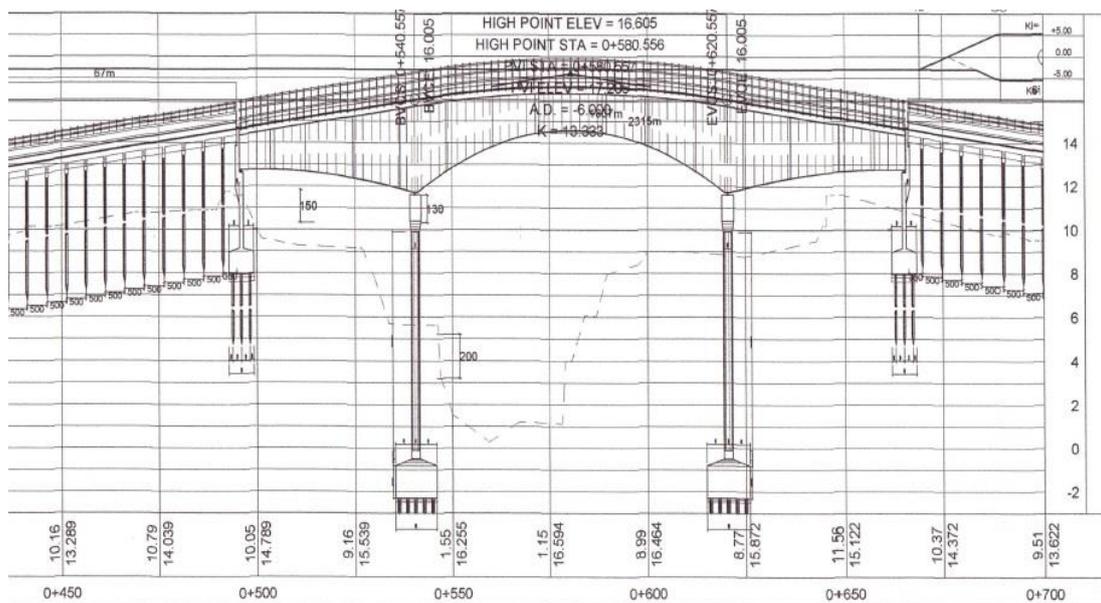
Persamaan efisiensi kelompok tiang yang digunakan adalah persamaan pendekatan yang disarankan oleh "Converse-Labarre Formula" (Listyawan, 2017) sebagai berikut :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 mn} \tag{6}$$

- E_g = efisiensi kelompok tiang
- m = jumlah baris tiang
- n = jumlah tiang dalam satu baris
- θ = $\arctan d/s$ (°)
- s = jarak pusat ke pusat tiang (m)
- d = diameter tiang (m)

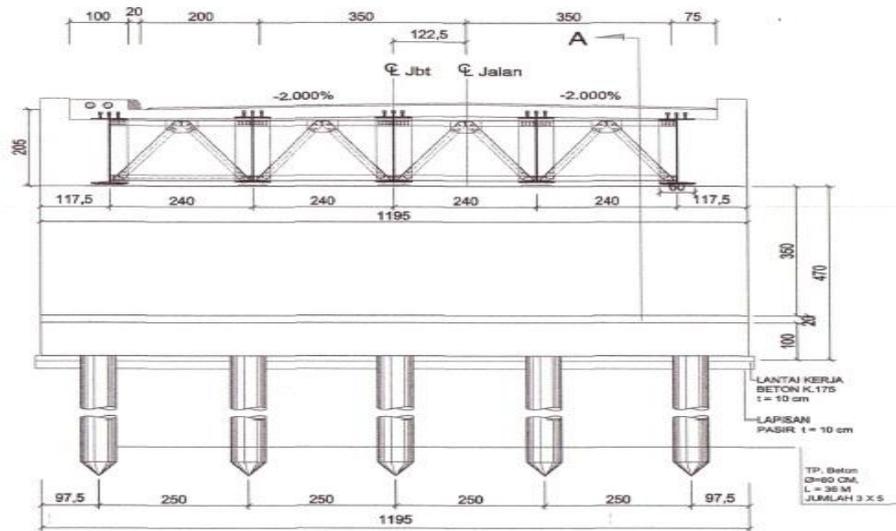
Hasil dan Pembahasan

Jembatan Kolonel Sunandar mempunyai panjang bentang 170 m dan lebar 10,55 m, sementara panjang oprit di masing – masing sisi ujung jembatan adalah 210 m, terdiri dari 4 *abutment* dan 2 pilar. Jenis tanah pada lokasi proyek Jembatan Kolonel Sunandar berupa tanah lempung. Potongan memanjang Jembatan Kolonel Sunandar dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Potongan Memanjang Jembatan Kolonel Sunandar Kab. Demak-Kudus

Pembebanan *Abutment* dihitung berdasarkan, terdiri dari beban mati plat lantai untuk gelagar memanjang, beban mati tambahan untuk gelagar memanjang, beban hidup, beban truk “T”, beban pejalan kaki, dan berat sendiri *abutment* jembatan. Potongan melintang *abutment* Jembatan Kolonel Sunandar dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Potongan Melintang *Abutment* Jembatan Kolonel Sunandar Kab. Demak-Kudus

Beban aksial total (P) yang diterima oleh fondasi tiang pancang pada *abutment* Jembatan Kolonel Sunandar meliputi beban mati, beban hidup, beban truk “T”, beban pejalan kaki, berat sendiri *girder*, berat sendiri *bracing*, dan berat sendiri *abutment* adalah sebesar 14454,696 kN.

Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi taing pancang abutmen jembatan ini menggunakan dengan metode statis tipe kombinasi *end bearing* dan *friction pile* untuk mencari nilai kapasitas dukung tiang pancang tunggal. Nilai kapasitas dukung tiang tunggal berasal dari dua komponen yaitu tahanan ujung (Q_b) dan tahanan gesek selimut tiang (Q_s).

Pondasi tiang pancang yang digunakan berdiameter $d = 0,7$ m dipancang sampai kedalaman 35 m dengan faktor $SF = 2$.

Tahanan ujung tiang (Q_b)

$$A_b = 0,25 \times \pi \times d^2 = 0,25 \times \pi \times 0,7^2 = 0,385 \text{ m}^2$$

$$Q_b = A_b \times C_b \times N_c = 0,385 \times 168 \times 9 = 582,120 \text{ kN}$$

Kontrol tahanan ujung satuan ($q_b \leq 10.700 \text{ kN/m}^2$)

$$q_b = Q_b/A_b = c_b \times N_c = 1512 \text{ kN/m}^2 \leq 10.700 \text{ kN/m}^2$$

Tahanan gesek selimut tiang (Q_s)

$$\text{Keliling tiang} = \pi \times d = \pi \times 0,7 = 2,199 \text{ m}$$

$$Q_s = \sum a_d \times C_u \times A_s \tag{7}$$

Nilai kohesi tak terdrainase (C_u) diperoleh konversi nilai N-SPT ke nilai C_u untuk jenis tanah lempung (AASHTO, 1998) dalam Fitri (2017) yaitu:

$$C_u = 4N \tag{8}$$

Perhitungan tahanan gesek tiang (Q_s) sampai kedalaman 35 m dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hitungan Tahanan Gesek Selimut Tiang (Q_s) diameter (d) = 0,7 m

Kedalaman (m)	N-SPT	C_u (kN/m ²)	a_d	πd (m)	h (m)	A_s (m ²)	Q_s (kN)
2	1	4	1	2,198	2	4,396	17,584
4	1	4	1	2,198	2	4,396	17,584
6	2	8	0,99	2,198	2	4,396	34,816
8	4	16	0,97	2,198	2	4,396	68,226
10	4	16	0,97	2,198	2	4,396	68,226
12	5	20	0,95	2,198	2	4,396	83,524
14	4	16	0,97	2,198	2	4,396	68,226
16	6	24	0,92	2,198	2	4,396	97,064
18	6	24	0,92	2,198	2	4,396	97,064
20	8	32	0,83	2,198	2	4,396	116,758
22	15	60	0,60	2,198	2	4,396	158,256
24	22	88	0,56	2,198	2	4,396	216,635
26	24	96	0,46	2,198	2	4,396	194,127
28	27	108	0,43	2,198	2	4,396	204,150
30	31	124	0,41	2,198	2	4,396	223,493
32	40	160	0,39	2,198	2	4,396	274,310
34	42	168	0,38	2,198	2	4,396	280,641
35	42	168	0,38	2,198	1	2,198	140,320
						Q_s	2361,004

Kontrol tahanan gesek satuan ($q_s \leq 107 \text{ kN/m}^2$)

$$q_s = 0,38 \times 168 = 63,840 \leq 107 \text{ kN/m}^2$$

Daya dukung ultimit tiang tunggal

$$\begin{aligned} Q_u &= A_b \cdot c_b \cdot N_c + \sum a_d \cdot c_u \cdot A_s \\ &= 582,120 + 2361,004 \\ &= 2943,124 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung ijin tiang tunggal

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{2943,124}{2} \\ &= 1471,562 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jumlah tiang yang dibutuhkan untuk memikul beban

$$\begin{aligned} n &= \frac{P}{Q_a} \\ &= \frac{14454,696}{1471,562} \\ &= 9,823 \text{ tiang m} \end{aligned}$$

Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pada Tanah Kohesif

Dicoba memakai 15 tiang (3 baris, masing-masing baris terdiri dari 5 tiang)
Cek terhadap kemungkinan keruntuhan blok kelompok tiang :

$$\begin{aligned}d &= 0,7 \text{ m} \\s &= 2,5d - 3d = 1,75 - 2,1 \text{ (dipilih } s = 1,85) \\s/d &= 1,85/0,7 = 2,64 \\3d &= 3 \times 0,7 = 2,1 \\s/d > 3d, &\text{ tidak terjadi keruntuhan blok}\end{aligned}$$

Daya dukung kelompok tiang jika terjadi keruntuhan blok

$$\begin{aligned}Q_g &= 2 D (B+L) C + 1,3 C N_c B L \\&= 2 \times 35 \times (4,4 + 8,1) \times 168 + 1,3 \times 168 \times 9 \times 4,4 \times 8,1 \\&= 217053,984 \text{ kN}\end{aligned}$$

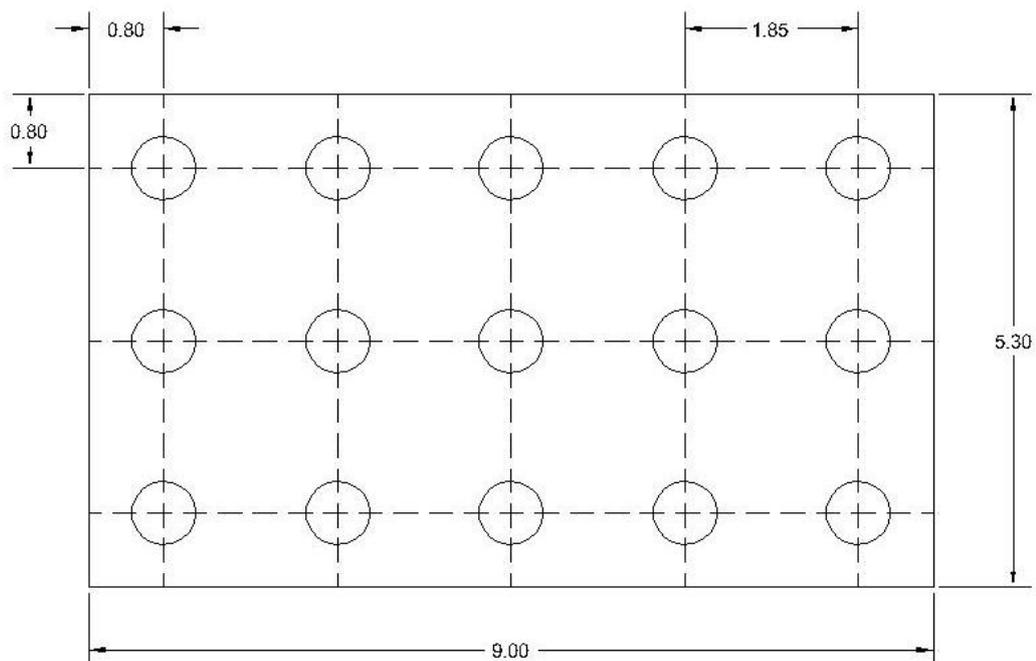
Daya dukung ijin kelompok tiang = $217053,984 : 2 = 108526,992 \text{ kN}$.
Efisiensi (E_g):

$$\begin{aligned}\theta &= \text{arc tg } d/s = \text{arc tg } (0,7/1,85) = 20,726^\circ \\E_g &= 1 - \theta \frac{(n-1) m + (m-1)n}{90 mn} \\&= 1 - \theta \frac{(5-1) 3 + (3-1)5}{90 \cdot 3 \cdot 5} \\&= 0,662\end{aligned}$$

Daya dukung kelompok ijin tiang jika terjadi keruntuhan tiang tunggal

$$\begin{aligned}Q_g &= E_g \cdot m \cdot n \cdot Q_a \\&= 0,662 \times 3 \times 5 \times 1471,562 \\&= 14618,132 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban kerja yang dapat didukung kelompok tiang adalah nilai terkecil yaitu $Q_g = 14618,132 \text{ kN}$ (lebih besar dari beban aksial total $14454,696 \text{ kN}$) dengan jumlah tiang yang dibutuhkan sebanyak 15 tiang. Denah penempatan tiang pancang hasil perencanaan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Denah penempatan tiang pancang

Kesimpulan

- a) Beban total (P) yang diterima oleh fondasi tiang pancang pada *abutment* Jembatan Kolonel Sunandar meliputi beban mati, beban hidup, beban truk “T”, beban pejalan kaki, berat sendiri *girder*, berat sendiri *bracing*, dan berat sendiri *abutment* adalah sebesar 14454,696 kN.
- b) Kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal (Q_u) pada tiang berdiameter 0,7 m memiliki kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal (Q_u) sebesar 2943,124 kN dengan Q_a sebesar 1471,562 kN.
- c) Jumlah tiang yang dibutuhkan tiang berdiameter 0,7 m menggunakan faktor aman (SF) = 2 adalah 15 tiang dengan kapasitas dukung kelompok tiang sebesar 14618,132 kN lebih besar dari nilai $P = 14454,696$ kN.

Daftar Pustaka

- Fitri, A. A. 2017. “*Perencanaan Ulang Struktur Bawah Abutment dengan Pondasi Bored Pile (Redesign Bottom Structure Abutment with Bored Pile Foundation)*”, Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Listyawan, A. B., dkk. 2017. *Mekanika Tanah dan Rekayasa Pondasi*, Muhammadiyah University Press, Surakarta.
- SNI T-02-2005. 2005. *Pembebanan Untuk Jembatan*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.