

ANALISA FAKTOR KEAMANAN TIANG PANCANG PADA JEMBATAN SEI BONE CS KABUPATEN KAMPAR PROVINSI RIAU

Riza Fachlepi¹⁾, Darlina Tanjung²⁾, Jupriah Sarifah³⁾

¹⁾Alumni, ^{2,3)}Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Islam Sumatera Utara

fachlepir@gmail.com

Abstrak

Pondasi adalah struktur bagian bawah dari konstruksi bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan merupakan suatu pekerjaan yang sangat penting dalam pekerjaan teknik sipil, karena pondasi inilah yang akan memikul dan menahan suatu beban yang bekerja di atasnya. Dalam perencanaan pondasi perlu diperhitungkan besar beban yang diterima dan daya dukung tanah setempat. Setiap pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan. Tujuan dari studi ini untuk menghitung faktor keamanan tiang pancang beton secara berkelompok, dengan menggunakan Metode Hiley. Daya dukung tiang pancang pada kedalaman yang bervariasi dengan dukung rata-rata sebesar 21,10 ton. Daya dukung tiang pancang group dengan jumlah tiang 20 buah didapat sebesar 404,11 ton. Faktor keamanan dari tiang pancang kelompok sebesar 1,93.

Kata-Kata Kunci : Jembatan, Daya Dukung Tiang Pancang, Faktor Keamanan

I. Pendahuluan

Jembatan adalah suatu bangunan yang menghubungkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi : Aspek lalu lintas, Aspek teknis, Aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Pada Jembatan Sei Bone Cs merupakan Jalan Nasional yang memiliki fungsi menghubungkan satu daerah dengan daerah lainnya dalam suatu sistem jaringan jalan. Sistem tersebut secara utuh harus dapat menghasilkan pelayanan akan kebutuhan pergerakan antar kota dalam hal ini dari Pekanbaru – Bangkinan – Batas Provinsi Sumatera Barat secara efisien. Pergerakan tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi Prasarana Jalan dalam jaringan jalan. Bila lalu lintas lancar, diharapkan pertumbuhan ekonomi akan membaik yang pada akhirnya dapat menunjang tercapainya kesejahteraan masyarakat.

Pondasi yang dipakai pada jembatan Sei Bone Cs merupakan pondasi tiang pancang, pondasi merupakan struktur dasar pada suatu bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban dari atas struktur/bangunan ke lapisan tanah dibawahnya. Maka dari itu pondasi harus direncanakan sedemikian rupa sehingga pondasi mampu untuk menahan semua beban, baik beban vertikal akibat beban sendiri struktur jembatan dan seluruh beban diatas bangunan serta harus mampu menahan beban horizontal akibat gaya lateral, tiang pancang selain dirancang untuk menahan beban-beban aksial. Dengan dasar itu penulis termotivasi untuk mengambil judul : Analisa Faktor Keamanan Tiang

Pancang Pada Jembatan Sei Bone Cs Kabupaten Kampar Provinsi Riau.

Pondasi yang dipakai pada jembatan Sei Bone Cs merupakan pondasi tiang pancang, pondasi merupakan struktur dasar pada suatu bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban dari atas struktur/bangunan ke lapisan tanah dibawahnya. Maka dari itu pondasi harus direncanakan sedemikian rupa sehingga pondasi mampu untuk menahan semua beban, baik beban vertikal akibat beban sendiri struktur jembatan dan seluruh beban diatas bangunan serta harus mampu menahan beban horizontal akibat gaya lateral, tiang pancang selain dirancang untuk menahan beban-beban aksial. Dengan dasar itu penulis termotivasi untuk mengambil judul : Analisa Faktor Keamanan Tiang Pancang Pada Jembatan Sei Bone Cs Kabupaten Kampar Provinsi Riau.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan atau baja, yang digunakan untuk meneruskan (mentransmisikan) beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah di dalam massa tanah. Fungsi dan kegunaan dari pondasi tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentransfer beban-beban dari konstruksi di atasnya (super struktur) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam (Hutami, 2013).

Dalam pelaksanaan pemancangan pada umumnya dipancang tegak lurus dalam tanah, tetapi ada juga dipancang miring (battle pile) untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal yang bekerja. Hal seperti ini sering terjadi pada dermaga dimana terdapat tekanan kesamping dari kapal dan perahu. Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang

tergantung dari alat yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya.

Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada dibawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja padanya (Sardjono HS, 1988).

2.2 Jenis dan Keadaan Tanah Pendukung Pondasi

Tanah merupakan kumpulan partikel-partikel yang ukurannya beraneka ragam. Tanah dihasilkan sebagai produk sampingan dari pelapukan batuan secara mekanis dan kimiawi yang sebagian dari partikel-partikel ini diberikan nama khusus seperti kerikil, lanau, lempung dan sebagainya.

Tanah terdiri dari butiran partikel padat disertai air dan udara yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah sebagai media pendukung pondasi mempunyai karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan jenis dan keadaan tanahnya. Berbagai parameter yang mempengaruhi karakteristik tanah antara lain : ukuran butiran, berat jenis, kadar air, kerapatan, angka pori, dan lain sebagainya yang dapat diketahui melalui penyelidikan laboratorium.

2.3 Jenis dan Kriteria Pemakaian Tiang Pancang

Dalam perencanaan pondasi suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi yang digunakan berdasarkan atas beberapa hal :

1. Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut.
2. Besarnya beban dan beratnya bangunan atas.
3. Kondisi tanah tempat bangunan didirikan.
4. Biaya pondasi dibandingkan dengan bangunan atas.

Dari beberapa macam tipe pondasi yang dapat digunakan, salah satu diantaranya adalah pondasi tiang pancang. Pondasi tiang pancang berfungsi untuk memindahkan atau mentransfer beban-beban dari konstruksi diatasnya kelapisan tanah yang lebih dalam.

2.3.1 Tiang Pancang Berdasarkan Pemindahan Beban

Jenis tiang pancang ini memindahkan beban ke dalam tanah melalui tahanan ujung (*Point Bearing Pile*) dan melalui tahanan kulit (*Friction Pile*). *Point Bearing Pile* adalah tiang pancang dengan tahanan ujung yang pemancangannya sampai kelapisan tanah keras, pada umumnya dipergunakan pada tanah lunak. *Friction pile* adalah tiang yang meneruskan beban kedalam tanah melalui gesekan kulit atau *skin friction*. Pemakaian tiang pancang ini umumnya dilakukan pada tanah berbutir halus dan sukar menyerap air. Pada umumnya dilapangan dijumpai tipe tiang yang merupakan kombinasi dari *Point Bearing Pile* dengan *Friction Pile*, keadaan ini terjadi karena tanah merupakan kombinasi tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus.

2.3.2 Tiang Pancang Berdasarkan Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada pembuatan tiang pancang antara lain, tiang pancang kayu, tiang pancang beton, tiang pancang baja dan tiang pancang komposit. Pemakaian dari keempat tiang pancang ini berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan, sebab masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan.

1. Tiang Pancang Kayu

Tiang pancang kayu dibuat dari kayu yang biasanya diberi pengawet dan dipancangkan dengan ujungnya yang kecil sebagai bagian yang runcing. Tapi biasanya apabila ujungnya yang besar dipancangkan, dimaksudkan untuk tanah yang sangat lembek dimana tanah tersebut akan bergerak kembali melawan poros. Kadang kala ujungnya runcing dilengkapi dengan sebuah sepatu pemancang yang terbuat dari logam bila tiang pancang harus menembus tanah keras atau tanah kerikil. Tiang kayu akan tahan lama dan tidak mudah busuk apabila tiang kayu tersebut dalam keadaan selalu terendam penuh di bawah muka air tanah. Tiang pancang dari kayu akan lebih cepat rusak atau busuk apabila dalam keadaan kering dan basah yang selalu berganti-ganti. Sedangkan pengawetan serta pemakaian obat-obatan pengawet untuk kayu hanya akan menunda atau memperlambat kerusakan dari pada kayu, dan tidak dapat melindungi dalam jangka waktu yang lama. Pada pemakaian tiang pancang kayu biasanya tidak diijinkan untuk menahan muatan lebih besar dari 25 sampai 30 ton untuk setiap tiang.

2. Tiang Pancang Beton

Tiang pancang beton terdiri dari beberapa jenis. Adapun jenis-jenisnya adalah sebagai berikut :

a. *Precast Reinforced Concrete Pile*

Precast Reinforced Concrete Pile adalah tiang pancang dari beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (bekisting), kemudian setelah cukup kuat lalu diangkat dan di pancangkan. Karena tegangan tarik beton adalah kecil dan praktis dianggap sama dengan nol, sedangkan berat sendiri dari pada beton adalah besar, maka tiang pancang beton ini haruslah diberi penulangan-penulangan yang cukup kuat untuk menahan momen lentur yang akan timbul pada waktu pengangkatan dan pemancangan.

b. *Precast Prestressed Concrete Pile*

Precast Prestressed Concrete Pile adalah tiang pancang dari beton prategang yang menggunakan baja penguat dan kabel kawat sebagai gaya prategangnya.

c. *Cast in Place Pile*

Pondasi tiang pancang tipe ini adalah pondasi yang di cetak di tempat dengan jalan dibuatkan lubang terlebih dahulu dalam tanah dengan cara mengebor tanah seperti pada pengeboran tanah pada waktu penyelidikan tanah.

3. Tiang Pancang Baja

Kebanyakan tiang pancang baja ini berbentuk profil H. karena terbuat dari baja maka kekuatan dari tiang ini sendiri sangat besar sehingga dalam pengangkutan dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah seperti halnya pada tiang beton precast. Jadi pemakaian tiang pancang baja ini akan sangat bermanfaat apabila kita memerlukan tiang pancang yang panjang dengan tahanan ujung yang besar.

2.4 Daya Dukung

Analisa daya dukung mempelajari tanah dalam mendukung beban pondasi struktur yang terletak di atasnya. Daya dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang-bidang gesernya. Perencanaan pondasi harus dipertimbangkan terhadap keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan.

2.4.1 Perhitungan Daya Dukung Dengan Rumus Mayerhof

Daya dukung tiang pancang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung/memikul beban. dalam beberapa literatur digunakan istilah *pile capacity* atau *pile carrying capacity* (Rumus Mayerhof).

$$P = \frac{M^2 \cdot H}{F_s \cdot (M + m) \cdot Z'}$$

Di mana:

M = Berat balok pancang

m = Berat sendiri tiang

H = Tinggi jatuh balok pancang

F_s = Faktor keamanan

P = Beban tiang

Z' = untuk tiang pancang baja

2.4.2 Perhitungan Daya Dukung Dengan Kalendering (Rumus Hiley)

Perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang dengan menggunakan rumus dinamis (Hiley).

$$R = \frac{2WH}{S+K} \cdot \frac{W+N^2P}{W+P}$$

Di mana :

R = Kapasitas daya dukung batas (ton)

W = Berat palu atau ram (ton)

P = Berat tiang pancang (ton)

H = tinggi jatuh ram

S = Penetrasi tiang pancang pada saat penumbukan terakhir, atau "set" (cm)

K = Rata-rata Rebound untuk 10 pukulan terakhir (cm)

N = Koefisien restitusi 0,4-0,5 untuk palu besi cor, tiang beton tanpa helm 0,3-0,4 untuk palu kayu (landasan kayu) 0,25-0,3 untuk tiang kayu

Setelah itu daya dukung mendapatkan factor koreksi yaitu:

Efisiensi palu (ef):

ef = 0,8-0,9 untuk diesel hammer

ef = 0,7-0,9 untuk drop hammer

ef = 0,7-0,85 untuk single/double acting hammer

2.5 Metode Kalendering Pemancangan Tiang Pancang.

Secara umum kalendering digunakan pada pekerjaan pemancangan tiang pancang (beton maupun pipa baja) untuk mengetahui daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang. Alat pancang disini bisa berupa diesel hammer maupun hydraulic hammer. Biasanya kalendering dalam proses pemancangan tiang pancang merupakan item wajib yang harus dilaksanakan dan menjadikan laporan untuk proyek. Sebagaitambahan selain kalendering dilakukan pengecekan dengan PDA test. Perhitungan kalendering menghasilkan output yang berupa daya dukung tanah dalam Ton.

Sebelum dilaksanakan kalendering biasanya juga dilakukan monitoring pemukulan saat pemancangan yaitu untuk mengetahui jumlah pukulan tiap meter dan total sebagai salah satu bentuk data yang dilampirkan beserta hitungan kalendering. Untuk itu sebelumnya tiang pancang yang akan dipancang diberikan skala terlebih dahulu tiap meternya menggunakan penanda misalnya cat semprot /phlox. Untuk mengitungnya disediakan terlebih dahulu counter agar mudah dalam menghitung jumlah pukulan tiap meter dan totalnya.

2.6 Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang didefinisikan sebagai:

$$E_g = \frac{\text{Daya dukung kelompok tiang}}{\text{Jumlah tiang} \times \text{daya dukung tiang tunggal}}$$

Meskipun beberapa formula sering dipergunakan untuk menentukan nilai efisiensi ini, tetapi belum ada suatu peraturan bangunan yang secara khusus menetapkan cara tertentu untuk menghitungnya. Laporan terakhir ASCE Committee on Deep Foundation (1984), menganjurkan untuk tidak menggunakan efisiensi kelompok untuk mendeskripsikan aksi kelompok tiang (group action).

Beberapa persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut:

Metode Converse-Labarre Formula

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

Di mana :

E_g = Efisiensi kelompok tiang

θ = Arc tan d/s m = Jumlah baris

n = Jumlah tiang dalam 1 baris

d = Diameter tiang

s = Jarak pusat ke pusat tiang

2.7 Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ujung tiang, maka diperlukan suatu angka pembagi kapasitas ultimate yang disebut dengan faktor aman (keamanan) tertentu. Faktor keamanan ini perlu diberikan dengan maksud :

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.
2. Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.
3. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas – batas toleransi.
5. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.

Sehubungan dengan alasan butir (d) dari hasil banyak pengujian - pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm). penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2, 5.

Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan faktor aman (F) untuk perancangan pondasi tiang (Tabel 2.5), yang dipertimbangkan faktor - faktor sebagai berikut :

1. Tipe dan kepentingan dari struktur.
2. Variabilitas tanah (tanah tidak *uniform*).
3. Ketelitian penyelidikan tanah .
4. Tipe dan jumlah uji tanah yang dilakukan.
5. Ketersediaan tanah ditempat (uji beban tiang).
6. Pengawasan/kontrol kualitas di lapangan.
7. Beban desain aktual yang terjadi selama beban layanan struktur.

Tabel 1. Faktor Aman Yang Disarankan (Reese & O'Neill, 1989)

Klasifikasi Struktur	Faktor Keamanan (F)			
	Kontrol baik	Kontrol Buruk	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monomental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2,9	3	3,5	3,6
Sementara	2	3	3,3	3,8

Sumber : Teknik Pondasi 2,Hary Christady Hardiyatmo.

Besarnya beban bekerja (*working load*) atau kapasitas tiang izin dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimate (Qu) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai. Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan pondasi tiang, tergantung pada jenis tiang dan tanah berdasarkan data laboratorium sebagai berikut :

1. Tiang Pancang
 - a. Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter $d < 2$ m.

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5}$$

- b. Untuk tiang tanpa pembesaran di bagian bawah.

$$Q_a = \frac{Q}{2}$$

Untuk tiang dengan diameter lebih dari 2 m, kapasitas tiang izin perlu dievaluasi dengan pertimbangan terhadap penurunan tiang.

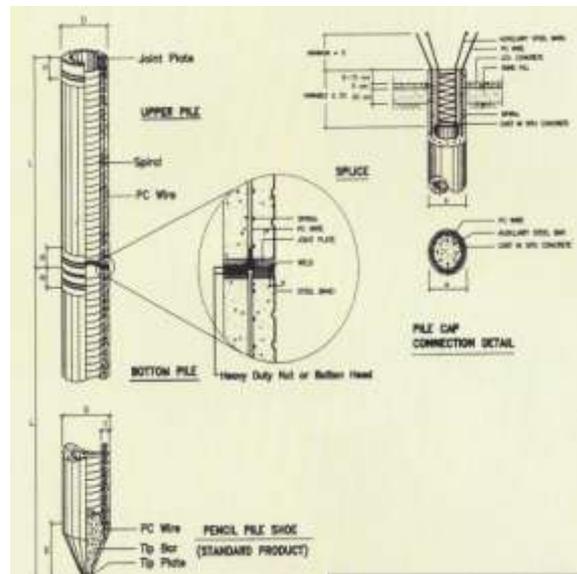
Rumus Perhitungan Faktor Kemanan (FS) adalah:

$$F = \frac{\text{Daya dukung tiang}}{(\text{Beban Mati} + \text{Beban Hidup} + \text{Beban Gempa})}$$

III. Hasil dan Pembahasan

3.1 Jenis Tiang Pancang.

Jenis tiang pancang pada jembatan Sei Bone Cs, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau, berjenis tiang pancang beton (*concrete pile*) dengan diameter 500mm. Tipikal sambungan tiang pancang beton dengan cara dilas keliling, Gambar 1 menunjukkan sambungan las dan bagian bagian tiang.



Gambar 1. Sambungan Las

Sumber : www.ilmutekniksipil.com

3.2 Kedalaman Pemancangan

Kedalaman pemancangan pada Jembatan Sei Bone Cs Kabupaten Kampar, Provinsi Riau, dihitung dengan data pendukung yaitu kalendering dan data *Pile Drive Record (PDR)*.

Tabel 2. *Pile Driving Record (PDR)*

No Tiang	Diameter (mm)	Panjang Tanam (m)	Panjang Terpoting (m)	Rebound (k)	Penetrasi Tiang (s)
Abt 1 A-1	500	9,1	0,9	0,5	0,05
Abt 1 B-1	500	9,6	0,4	0,9	0,05
Abt 1 C-1	500	9,8	0,2	0,8	0,19
Abt 1 D-1	500	9,2	0,8	1,1	0,22
Abt 1 E-1	500	9,35	0,65	1,5	0,12
Abt 1 F-1	500	9,8	0,2	0,5	0,1
Abt 1 G-1	500	9	1	1,4	0,1
Abt 1 H-2	500	9	1	0,8	0,16
Abt 1 I-2	500	9,06	0,94	1,2	0,14
Abt 1 J-2	500	6,2	3,8	1,7	0,18
Abt 1 K-2	500	9,1	0,9	0,5	0,05
Abt 1 L-2	500	7,74	2,26	1	0,1
Abt 1 M-2	500	6	4	1,5	0,09
Abt 1 N-3	500	9	1	1,9	0,17
Abt 1 O-3	500	3,7	6,3	0,7	0,25
Abt 1 P-3	500	5,15	4,85	0,4	0,17
Abt 1 Q-3	500	9,1	0,9	1	0,21
Abt 1 R-3	500	6,82	3,18	1	0,25
Abt 1 S-3	500	7,26	2,74	0,5	0,19
Abt 1 T-3	500	9,43	0,57	0,8	0,18

4.3 Data Kalendering

Untuk menghitung kapasitas tiang pancang berdasarkan data kalendering dengan menggunakan rumus metode Hiley.

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P}$$

Daya dukung

a) Pile no 1 (Abt 1 A-1)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,05+0,5} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,64}{4,5 + 2,64} = 32,73 \times 0,71 = 23,08 \text{ ton}$$

b) Pile no 2 (Abt 1 B-1)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,05+0,9} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,78}{4,5 + 2,78} = 18,95 \times 0,7 = 13,26 \text{ ton}$$

c) Pile no 3 (Abt 1 C-1)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,19 + 0,8} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,84}{4,5 + 2,84} = 18,18 \times 0,69 = 12,54 \text{ ton}$$

d) Pile no 4 (Abt 1 D-1)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,22+1,1} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,67}{4,5 + 2,67} = 13,64 \times 0,7 = 9,55 \text{ ton}$$

e) Pile no 5 (Abt 1 E-1)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,12+1,5} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,71}{4,5 + 2,71} = 11,11 \times 0,7 = 7,78 \text{ ton}$$

f) Pile no 6 (Abt 1 F-1)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,1+0,5} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,84}{4,5 + 2,84} = 30 \times 0,69 = 20,74 \text{ ton}$$

g) Pile no 7 (Abt 1 G-1)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,1 + 1,4} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,61}{4,5 + 2,61} = 12 \times 0,71 = 8,4 \text{ ton}$$

h) Pile no 8 (Abt 1 H-2)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,16 + 0,8} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,61}{4,5 + 2,61} = 18,75 \times 0,7 = 13,125 \text{ ton}$$

i) Pile no 9 (Abt 1 I-2)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,14+1,2} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,63}{4,5 + 2,63} = 13,43 \times 0,71 = 9,54 \text{ ton}$$

j) Pile no 10 (Abt 1 J-2)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,18 + 1,7} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 1,8}{4,5 + 1,8} = 9,57 \times 0,77 = 7,37 \text{ ton}$$

k) Pile no 11 (Abt 1 K-2)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,05+0,5} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,64}{4,5 + 2,64} = 32,73 \times 0,71 = 23,08 \text{ ton}$$

l) Pile no 12 (Abt 1 L-2)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P} = \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,1 + 1} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,24}{4,5 + 2,24} = 16,63 \times 0,735 = 12,03 \text{ ton}$$

m) Pile no 13 (Abt 1 M-2)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P}$$

$$= \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,09 + 1,5} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 1,74}{4,5 + 1,74}$$

$$= 11,32 \times 0,78$$

$$= 8,83 \text{ ton}$$

n) Pile no 14 (Abt 1 N-3)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P}$$

$$= \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,17 + 1,9} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,61}{4,5 + 2,61}$$

$$= 8,7 \times 0,71$$

$$= 6,17 \text{ ton}$$

o) Pile no 15 (Abt 1 O-3)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P}$$

$$= \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,25 + 0,7} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 1,07}{4,5 + 1,07}$$

$$= 18,95 \times 0,85$$

$$= 16,05 \text{ ton}$$

p) Pile no 16 (Abt 1 P-3)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P}$$

$$= \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,17+0,4} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 1,49}{4,5 + 1,49}$$

$$= 31,58 \times 0,8$$

$$= 25,32 \text{ ton}$$

q) Pile no 17 (Abt 1 Q-3)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P}$$

$$= \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,21 + 0,4} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,64}{4,5 + 2,64}$$

$$= 29,51 \times 0,71$$

$$= 20,95 \text{ ton}$$

r) Pile no 18 (Abt 1 R-3)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P}$$

$$= \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,21 + 1} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 1,98}{4,5 + 1,98}$$

$$= 14,88 \times 0,76$$

$$= 11,31 \text{ ton}$$

s) Pile no 19 (Abt 1 S-3)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P}$$

$$= \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,19 + 0,5} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,11}{4,5 + 2,11}$$

$$= 26,09 \times 0,75$$

$$= 19,56 \text{ ton}$$

t) Pile no 20 (Abt 1 T-3)

$$R = \frac{2W \times H}{s+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P}$$

$$= \frac{2 \times 4,5 \times 2}{0,18+0,8} \times \frac{4,5 + 0,45^2 \times 2,73}{4,5 + 2,73}$$

$$= 18,37 \times 0,7$$

$$= 18,84 \text{ ton}$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

No Pile	W(ton)	H(m)	N	P(ton)	R(ton)
1	4,5	2	0,45	2,64	23,08
2	4,5	2	0,45	2,64	13,26
3	4,5	2	0,45	2,842	12,54
4	4,5	2	0,45	2,67	9,55
5	4,5	2	0,45	2,71	7,78
6	4,5	2	0,45	2,84	20,74
7	4,5	2	0,45	2,61	8,4
8	4,5	2	0,45	2,61	13,125
9	4,5	2	0,45	2,63	9,54
10	4,5	2	0,45	1,8	7,37
11	4,5	2	0,45	2,64	23,08
12	4,5	2	0,45	2,24	12,03
13	4,5	2	0,45	1,74	8,83
14	4,5	2	0,45	2,61	6,17
15	4,5	2	0,45	1,07	16,05
16	4,5	2	0,45	1,49	25,32
17	4,5	2	0,45	2,64	20,95
18	4,5	2	0,45	1,98	11,31
19	4,5	2	0,45	2,11	19,56
20	4,5	2	0,45	2,73	18,84

4.4 Menghitung Faktor Keamanan

Untuk menghitung faktor keamanan digunakan data daya dukung yang telah dihitung sebelumnya.

a) Menghitung Daya Dukung Rata-Rata Tiang Pancang

$$R_{rata-rata} = \frac{R_{Total}}{Jumlah\ tiang\ pancang}$$

$$= \frac{287,53}{20}$$

$$= 14,38 \text{ ton}$$

b) Menghitung Efisiensi Kelompok Tiang

$$Eg = 1 - \theta \frac{(m-1)n + (n-1)m}{90.m.n}$$

$$= 1 - 0,343 \frac{(3-1)7 + (7-1)3}{90 \times 7 \times 3}$$

$$= 0,99$$

c).Menghitung Daya Dukung Tiang Kelompok

$$R_{kelompok} = Eg \times R_{rata-rata} \times n$$

$$= 0,99 \times 14,38 \times 20$$

$$= 284,73$$

d).Menghitung Faktor Keamanan

$$Fs = \frac{Daya\ dukung\ tiang\ kelompok}{Beban\ yang\ di\ butuhkan}$$

$$= \frac{284,73}{127,729}$$

$$= 2,23$$

III. Kesimpulan.

Berdasarkan hasil analisis perhitungan pada Jembatan Sei Bone Cs Kabupaten Kampar Provinsi Riau diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya dukung tiang pancang bervariasi pada setiap titiknya.
2. Daya dukung tiang pancang yang paling besar adalah 23,08 ton pada titik Abt 1 A-1, dan daya dukung tiang pancang yang paling kecil adalah 6,17 ton pada titik Abt 1 N-3.
3. Nilai rata-rata daya dukung tiang pancang sebesar 20,21 ton.
4. Nilai faktor Efisiensi Pile Group (Eg) sebesar 0,99.
5. Faktor keamanan (Fs) pada tiang pancang kelompok sebesar 2,23.

Daftar Pustaka

- [1]. Bowles, Joseph E. 1997. *Analisis Dan Desain Pondasi*. Edisi Keempat Jilid I, Erlangga.
- [2]. Hardiyatmo, H.C. 2002. *Teknik Pondasi 1*. Beta Offset: Yogyakarta.
- [3]. Hardiyatmo, H.C. 2002. *Teknik Pondasi 2*. Beta Offset: Yogyakarta.
- [4]. Takhdid Rochjati, S. 2015. *Analisa Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Terhadap Hasil Uji Calendering*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Darul Ulum Islamic Center Sudirman, Semarang.
- [5]. Sardjono. H.S. 1984. *Pondasi Tiang Pancang Jilid 2*. Sinar Wijaya, Surabaya.
- [6]. Wesley, L.D. 1977. *Mekanika Tanah*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- [7]. Pintor Tua, S. 2004. *Rekayasa Pondasi I*, Jakarta.
- [8]. Darlina, T., dan Bangun Pasaribu., dan Jupriah, S. 2015. *Rekayasa Pondasi II*, Medan