

**Studi Struktur Pier Berpondasi Tiang Pancang Dengan Peninjauan Metode Interaksi
Antara Pondasi Tiang Dan Tanah
(Studi Kasus Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya)
*Pier Structure Study On Pier Foundation With Review Of Interaction Methods Between
Foundation Pole And Soil
(Case Study Of West Surabaya Outer Ring Road)***

Sonia Septianingrum¹, Pujo Priyono², Ilanka Cahya Dewi³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : soniaseptia@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : pujopriyono@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : ilankadewi@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Hal dasar di balik desain Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) di Surabaya adalah bahwa tata ruang dapat digunakan sebagai landasan dan panduan untuk pertumbuhan kota. Jalan Lingkar Luar Barat direncanakan sebagai bagian dari pengembangan tata ruang sektor jalan Wilayah Kota Surabaya. Untuk ruas tengah Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya digunakan konstruksi balok gelagar dengan pondasi tiang pancang, sedangkan untuk tepinya digunakan konstruksi slab on pile. Struktur jalan dihitung secara bersamaan pada girder, pier head, dan pondasi dalam tugas akhir ini, dengan pertimbangan khusus diberikan pada interaksi tanah pada pondasi tiang pancang. Untuk kapasitas tiang pancang pada proyek Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya (JLLB) didapatkan 167,71 ton untuk daya dukung vertical (dv) dan 95,98 ton untuk daya dukung lateral (dh). Berdasarkan Hasil perhitungan melalui tahap kontrol untuk daya dukung pondasi tiang pancang pada arah vertical (Dv) diperoleh perbedaan antara hasil interaksi (SAP 2000) dan non interaksi (perhitungan) sebesar 95,08 ton atau sebesar 56,69% dalam posisi aman (memenuhi) dan Daya dukung Lateral/ Horizontal (Dh) perbedaan antara hasil interaksi (SAP 2000) dan non interaksi (perhitungan) sebesar 27,143 ton atau sebesar 28,28% dalam posisi aman (memenuhi).

Keywords : Pondasi Tiang Pancang, CSI Bridge, Konstanta Pegas

Abstract

The basic idea behind the design of the Western Ring Road (JLLB) in Surabaya is that spatial planning can be used as a foundation and guide for urban growth. The West Outer Ring Road was planned as part of the spatial development of the Surabaya City Region road sector. For the middle section of the Surabaya Western Outer Ring Road, a girder beam construction with pile foundation was used, while for the edges, a slab on pile construction was used. The road structure is calculated simultaneously at the girder, pier head, and foundation in this final project, with special consideration given to the soil interaction at the pile foundation. For the pile capacity of the Surabaya Outer Ring Road (JLLB) project, 167.71 tons for vertical bearing capacity (dv) and 95.98 tons for lateral bearing capacity (dh) were obtained. Based on the results of the calculation through the control stage for the bearing capacity of the pile foundation in the vertical direction (Dv), the difference between the interaction results (SAP 2000) and non-interaction (calculation) is 95.08 tons or 56.69% in a safe position (fulfilled) and the Lateral / Horizontal Bearing Capacity (Dh) the difference between the interaction results (SAP 2000) and non-interaction (calculation) is 27.143 tons or 28.28% in a safe position (fulfilled).

Keywords : Pile Foundation, CSI Bridge, Spring Constant

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tujuan dari jalan pembangunan lingkaran adalah untuk mengalihkan lalu lintas kanal dari inti kota dengan mengelilingi daerah tersebut. Biasanya ditemukan sebagai bagian dari jaringan jalan dalam susunan radial, membentuk cincin radial. Semakin banyak lingkaran yang digunakan, semakin besar kotanya. Bergantung pada kelas jalan, jalan lingkaran luar memiliki rute arteri. Gagasan utama di balik jalan arteri adalah bahwa jalan tersebut dibangun dengan kapasitas lebih dari volume lalu lintas pada umumnya, rencana kecepatan minimum 60 km/jam, lebar jalan minimum 9 m, serta kapasitas lebih besar dari volume lalu lintas biasa. Selanjutnya, di jalan raya arteri, lalu lintas kembali tidak boleh mengganggu perjalanan jarak jauh.

Gagasan mendasar yang mendasari desain Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya adalah bahwa rencana tata ruang dapat berfungsi sebagai dasar dan kompas untuk pengembangan kota. Jalan Lingkar Luar Barat direncanakan sebagai komponen dari pengembangan sektor jalan spasial Wilayah Kota Surabaya. Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 12 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Surabaya Tahun 2014–2034 memuat agenda perencanaan strategis Kota Surabaya. Salah satu cara untuk mewujudkan sistem jaringan transportasi darat yang terintegrasi dijelaskan dalam Pasal 11 Ayat 1 Huruf A yang menyerukan “membangun jaringan jalan berjenjang dengan mengutamakan peningkatan pemerataan akses antara utara dan selatan”.

JLLB akan dibangun di dua kecamatan yaitu Benowo dan Lakarsantri, dengan estimasi panjang dan lebar jalan masing-masing 19,8 kilometer dan 50 meter. Melalui pintu tol Mojokerto di kawasan Driyorejo, proyek ini akan langsung menghubungkan tol Romokalisari dan Lakarsantri. Jembatan (*girder bridge*) dan konstruksi pelat tiang pancang adalah dua kategori pekerjaan yang dilakukan oleh JLLB. Jembatan ini dibangun melintasi infrastruktur penting, seperti jalan raya, rel kereta api, dan kawasan pemukiman, dengan

tanah berbasis tanah liat yang agak keras. Putri et al., (2020).

Untuk ruas tengah Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya digunakan konstruksi balok gelagar dengan pondasi tiang pancang, sedangkan untuk tepinya digunakan konstruksi *slab on pile*. Biasanya, ketika merencanakan *pier head* dan pondasi tiang pancang, mereka diperkirakan secara independen karena hal itu memiliki berbagai kelemahan, seperti perhitungan yang tidak terintegrasi dengan baik. Realitas desain yang diterapkan pada girder, pier head, dan pondasi akan mendekati kenyataan di lapangan.

Struktur jalan dihitung secara bersamaan pada girder, *pier head*, dan pondasi dalam tugas akhir ini, dengan pertimbangan khusus diberikan pada interaksi tanah pada pondasi tiang pancang.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penulisan tugas akhir yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana kapasitas pondasi tiang pancang pada proyek Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya?
2. Bagaimanakah pengaruh desain pondasi tiang pancang dengan memperhatikan interaksi tanah dan pondasi?

C. Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini terdapat batasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisa dan merencanakan beban-beban yang terdapat pada struktur bawah proyek Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya
2. Peraturan yang digunakan SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016

D. Tujuan

Berikut adalah tujuan dari penulisan tugas akhir ini, yang didasarkan pada rumusan masalah yaitu:

1. Mengetahui kapasitas pilar dan pondasi tiang pancang pada proyek Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya
2. Mengetahui pengaruh desain pondasi tiang pancang dengan analisa memperhatikan interaksi tanah dan pondasi

E. Manfaat

Dengan tersusunnya tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi penulis, pembaca maupun masyarakat. Berikut beberapa manfaat yang dapat diambil dari tugas akhir ini:

1. Terciptanya struktur jembatan terutama struktur bawah yang kuat dan kokoh
2. Sebagai referensi bagi pembaca untuk merencanakan struktur tiang pancang jembatan
3. Sebagai evaluasi pengetahuan bagi penulis berkaitan tentang struktur jembatan terutama struktur bawah jembatan
4. Menambah pengetahuan bagi penulis tentang perencanaan struktur jembatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah Sebagai Bahan Pondasi

Dalam bisnis bangunan, peran tanah sangat penting untuk terciptanya bangunan. Dalam banyak proyek teknik sipil, tanah digunakan sebagai bahan bangunan. Fungsi utama tanah adalah untuk menopang jembatan yang sedang dibangun. Karena kondisi tanah yang stabil diperlukan agar tanah berfungsi sebagai penyangga bangunan, pertama-tama perlu diperhatikan kualitas tanah yang kurang mampu menopang bangunan untuk mencapai daya dukung tanah yang diperlukan. Saat memilih opsi pembiayaan, pertimbangan diberikan pada lingkungan sekitar bangunan serta hasil studi tanah, yang meliputi:

1. Status subgrade menampilkan tipe subsoil pada berbagai level kedalaman.
2. Analisis daya dukung tanah
3. nilai untuk SPT (*Standard Penetration Test*) dari berbagai posisi bor
4. Ketahanan ujung konus dan besarnya ketahanan pelek yang berasal dari berbagai titik sondir
5. Hasil uji laboratorium tanah untuk memastikan berat jenis tanah dan faktor lainnya
6. Analisis daya dukung tiang penyangga berdasarkan data tanah.

Berikut ini adalah macam-macam jenis tanah:

1. Batu kerikil (*Gravel*).

2. Pasir (*Sand*)
3. Lanau (*Silt*)
4. Lempung Organik (*Clay*). Takaredase (2016).

B. Pondasi

Pondasi bangunan, atau bagian dari bangunan yang berada di bawah permukaan tanah dengan tanggung jawab untuk menahan beban komponen bangunan lain di atasnya, adalah struktur dasar dari struktur yang bersentuhan langsung dengan bumi. Lintasan harus diperhitungkan untuk menjamin stabilitas bangunan terhadap beratnya sendiri, beban bangunan, dan pengaruh luar seperti tekanan angin, gempa bumi, dll. Selain itu, levelnya tidak boleh di bawah batas yang diperbolehkan. Solikhati (2011).

Beberapa persyaratan umum dari pondasi adalah sebagai berikut:

- a. Kedalaman pondasi terutama pondasi telapak dan rakit harus cukup untuk menghindari disipasi material secara lateral
- b. Kedalaman harus lebih rendah dari area yang dipengaruhi oleh variasi volume musiman karena pembekuan, pencairan, dan perluasan proyek
- c. Sistem harus tahan terhadap rotasi, geser, dan membelah
- d. Senyawa berbahaya yang ada di dalam tanah tidak boleh menyebabkan korosi atau kerusakan sistem
- e. Sistem harus mampu menahan perubahan tertentu di lokasi atau geometri konstruksi di masa depan, serta mudah disesuaikan jika modifikasi di masa depan akan ekstensif
- f. Proses pemasangan pondasi harus hemat biaya
- g. Baik elemen pondasi maupun bagian bangunan di atas tanah harus menahan gerakan tanah total (biasanya defleksi tekan) dan gerakan diferensial
- h. Pondasi, serta strukturnya, harus memenuhi standar perlindungan lingkungan.

C. Pondasi Tiang Pancang

Ketika tanah di bawah dasar bangunan tidak memiliki kapasitas untuk menahan berat

dan beban struktur, atau ketika petak tanah keras terdekat dengan daya dukung yang diperlukan sangat jauh, pondasi tiang pancang digunakan sebagai bantalan bangunan.

Tanggung jawab tiang pancang adalah memindahkan beban bangunan (*superstructure*) ke lapisan bumi yang lebih besar. Biasanya, tiang pancang didorong tegak lurus ke tanah, tetapi jika beban horizontal membutuhkannya, tiang pancang juga dapat ditumpuk dengan sudut (*batter pile*). Tergantung pada denah dan instrumen pemilihan yang digunakan, kemiringan dapat diubah.

Pondasi tiang pancang biasanya digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk:

1. Untuk memindahkan berat struktur yang dibangun di atas air atau tanah lunak ke tanah yang kokoh.
2. Untuk memindahkan beban ke dalam tanah yang relatif lunak hingga kedalaman tertentu, memungkinkan jembatan konstruksi untuk menopang dirinya sendiri secara memadai melalui gesekan tanah antara sisi tiang.
3. Untuk menstabilkan struktur yang mengalami tekanan angkat yang disebabkan oleh tekanan hidrostatik atau momen guling
4. Kemampuan menahan tegangan horizontal dan miring
5. Memadat tanah berpasir untuk meningkatkan daya dukung tanah untuk menopang pondasi bangunan yang permukaan tanahnya rawan erosi air.

D. Efisiensi dan Kapasitas Tiang Pancang

Sekelompok tumpukan yang ditumpuk berdekatan dan biasanya digabungkan di bagian atas dengan tutup tumpukan dikenal sebagai kelompok tiang pancang. Untuk menentukan daya dukung kelompok tiang, berbagai faktor harus diperiksa terlebih dahulu, termasuk jumlah tiang dalam kelompok, jaraknya satu sama lain, dan konfigurasinya. Poer diklaim/dirancang untuk benar-benar kaku dalam perhitungan sehingga:

- 1) Bidang pori permanen akan berubah menjadi bidang setelah penurunan jika beban bekerja pada tiang yang menyebabkan penurunan.

2) Gaya pada tiang berbanding terbalik dengan pemisahannya.

a. Jarak Tiang (s)

Secara teori, tumpukan semakin dekat, tutup tiang semakin kecil, dan biaya berkurang secara tidak langsung. Namun, ketika mengangkat beban momen, jarak tiang harus ditingkatkan, yang berarti resistansi momen harus dinaikkan. Jarak minimal 0,60 m dan maksimal 2,00 m biasanya merupakan jarak antara dua (2) tiang dalam satu kelompok. Ketentuan ini didasarkan pada faktor-faktor berikut:

- 1) Tanah yang mengelilingi tiang dapat naik secara signifikan sebagai akibat dari tiang yang didorong terlalu berdekatan jika jarak antara tiang kurang dari $s \geq 2,5d$. Plus, itu bisa memaksa tumpukan di sekitarnya untuk terangkat
- 2) Perencanaan menjadi tidak ekonomis jika jarak antar tiang melebihi $3d$ karena ukuran dan dimensi tiang akan bertambah sehingga menambah pengeluaran.

b. Jumlah Tiang (n)

Menurut beban di lintasan dan kapasitas dukung tiang yang diizinkan, perhitungan berikut digunakan untuk menentukan berapa banyak tiang yang perlu dipasang:

$$n = \frac{P}{Q_a}$$

Keterangan:

P = Beban yang berkerja (ton)

Q_a = Kapasitas dukung ijin tiang tunggal (ton).

c. Susunan Tiang

Penataan tiang pancang yang selanjutnya dipengaruhi oleh jarak tiang pancang berdampak signifikan pada luas desain pile cap. Luas desain pile cap akan bertambah jika jarak antar tiang tidak rata atau terlalu lebar, meningkatkan volume beton karena peningkatan biaya konstruksi.

Menurut Coduto (1983), efisiensi tiang ditentukan oleh berbagai elemen, antara lain:

1. Jumlah tumpukan, ukuran, diameter, penempatan, dan jarak
2. Model untuk pengikatan beban (ketahanan gesekan terhadap pengekangan bantalan ujung)
3. teknik memasang tiang

4. pesanan pemasangan tiang
5. Jenis tanah
6. Periode setelah instalasi
7. interaksi tanah dengan pile cap.

Pendekatan ini bergantung pada tempat tiang ditempatkan dan mengabaikan faktor-faktor seperti panjang tiang, bentuk yang meruncing, perubahan kualitas tanah yang naik seiring kedalaman, dan pengaturan ketinggian air tanah.

E. Metode Tumpuan Spring

Gaya-gaya (momen lentur, garis lintang, dan gaya normal), penurunan arah vertikal (*settlement*), dan perpindahan tiang pancang atau jembatan ke arah horizontal semuanya dapat dipelajari dengan menggunakan model tumpuan pegas elastis.

Besar kecilnya gaya pegas dari tumpuan tersebut menentukan seberapa besar reaksi yang dapat ditopang oleh tanah, yang disebut sebagai tumpuan pegas elastis. Modulus tanah dari reaksi tanah dasar (k_s), yang dapat dianggap sebagai penopang elastis, menentukan kapasitasnya untuk mendukung beban. Besarnya k_s bervariasi tergantung jenis tanahnya.

Menurut Bowles (1974), modulus vertikal respon tanah dasar (k_{sv}) dapat dihitung dengan menggunakan daya dukung tanah yang diizinkan (R_a), yaitu:

$$K_{sv} = 40 \times SF \times R_a$$

Keterangan:

K_{sv} = Modulus of subgrade reaction (vertical)

SF = Faktor keamanan

R_a = Daya dukung tanah yang di ijin

Secara umum *modulus of subgrade reaction* ke arah horizontal (k_{sh}) lebih besar dari k_{sv} . Besarnya k_{sh} dapat dihitung dua kali dari nilai k_{sv} dalam perhitungan praktis.

$$K_{sh} = 2 \times K_{sv}$$

Keterangan:

K_{sv} = Modulus of subgrade reaction (vertical). Aunurrifa (2020).

F. CSI Bridge

Bisnis perangkat lunak rekayasa struktural dan gempa Computers and Structures, Inc. (CSI) didirikan pada tahun 1975 dan berkantor

pusat di Walnut Creek, California, dengan kantor tambahan di New York. Perangkat lunak yang dikembangkan oleh CSI untuk analisis dan desain struktural meliputi SAP2000, CSiBridge, ETABS, SAFE, PERFORM-3D, dan CSiCOL.

Model matematika Burj Khalifa, yang saat ini merupakan struktur tertinggi di dunia, dibuat menggunakan ETABS, perangkat lunak yang dikembangkan oleh Skidmore, Owings & Merrill LLP (SOM) yang berbasis di Chicago, Illinois. William F. Baker, S.E. dan James J. Pawlikowski, S.E. menyebutkan bahwa gravitasi, angin, dan respons seismik semuanya dicirikan menggunakan ETABS dalam artikel mereka yang berjudul Desain dan konstruksi gedung tertinggi di dunia: The Burj Dubai, kemudian berganti nama menjadi Burj Khalifa, yang muncul di majalah Structural Engineer edisi Desember 2009. Selanjutnya, pertimbangan Efek P-Delta dimungkinkan oleh kapasitas nonlinier geometrik ETABS.

CSI Bridge adalah program analisis dan desain spesialis yang dibuat oleh Computer and Inc. untuk rekayasa konstruksi jembatan (CSI). Menggunakan Jembatan suspensi, jembatan gantung, jembatan *cable stay*, dan sejumlah jenis lainnya dapat dimodelkan dan dibuat untuk melintasi atau menghubungkan dua situs yang secara geografis terpisah atau melintasi jalan raya.

3. METODOLOGI

Pada Penelitian ini memakai data sebagai berikut:

1. Data Tanah
2. Peta Gambar

Adapun Flow Chart Penelitian seperti pada gambar 1.

Tabel 1 Deskripsi Tanah

Lapis	Deskripsi Tanah	Tebal	Kedalaman	N SPT	t/N	t/N	Σ N	N = 30/ΣN
		(m)	(m)					
1	Lempung Berlanau Berpasir Kecoklatan	11,00	3,00	9	1,22	0,72		
			5,00	15	0,73			
			8,00	23	0,48			
			10,50	25	0,44			
2	Lempung Berlanau Abu - Abu	19,00	12,50	27	0,70	0,58	1,30	23,05
			15,00	35	0,54			
			18,00	28	0,68			
			20,50	31	0,61			
			23,00	31	0,61			
			25,00	37	0,51			
			28,00	32	0,59			
			30,00	47	0,40			
Total Tebal		30,00						

Sumber : Perhitungan

D. Konstanta Pegas

1) Konstanta pegas Vertikal

Besarnya penurunan elastis ditentukan dengan menggunakan konstanta pegas vertikal (kv). Arah vertikal kepala tiang juga dapat berubah sebagai akibat dari konstanta pegas arah vertikal ini.

Untuk mencari nilai konstanta pegas (kv) dalam arah vertikal dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut:

$$K_v = a \frac{A_p \cdot E_p}{l}$$

Untuk tiang yang beton pratekan (*Prestressed concrete*)

$$a = 0,041 \left(\frac{l}{D} \right) - 0,27$$

Rumus di atas dapat dipakai bila $L/D \geq 10$
 $L/D = 2000\text{cm}/60\text{cm} = 33,33 \geq 10$ (**Memenuhi**)

Pondasi yang digunakan pada struktur ini yaitu tiang beton pratekan (*prestressed concrete*) oleh karena itu rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$a = 0,041 \left(\frac{l}{D} \right) - 0,27$$

$$a = 0,041 \left(\frac{20\text{ m}}{0,6\text{ m}} \right) - 0,27 = 1,097$$

Luas penampang tiang dari tiang:

$$A_p = \left(\frac{1}{4} \right) \pi D^2$$

$$A_p = \left(\frac{1}{4} \right) \times 3,14 \times 600^2$$

$$= 282600 \text{ mm}^2$$

$$= 0,2826 \text{ m}^2$$

Modulus elastisitas tiang:

$$E_p = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$E_p = 4700 \sqrt{52 \text{ Mpa}}$$

$$E_p = 33.892,18 \text{ MPa}$$

$$E_p = 345.598,58 \text{ kg/cm}^2$$

Besarnya Konstanta Pegas (K_v) untuk arah vertical di ambil pada ujung tiang pondasi yaitu pada kedalaman 20 meter. Konstanta Pegas K_v untuk arah vertikal adalah sebagai berikut :

$$K_v = a \frac{A_p \cdot E_p}{l}$$

$$K_v = 1,637 \times \frac{0,2826 \text{ m}^2 \times 345.598,58 \text{ kg/cm}^2}{20 \text{ m}}$$

$$K_v = 1,637 \times \frac{(0,2826 \times 10000) \text{ cm}^2 \times 345.598,58 \text{ kg/cm}^2}{(20 \times 100) \text{ cm}}$$

$$K_v = 1,637 \times 488.330,8 \text{ kg/cm}$$

$$K_v = 535.536, \text{ kg/cm}$$

$$K_v = 53.554 \text{ t/m}$$

Maka , nilai Konstanta Pegas arah vertikal (K_v) pada kedalaman 20 meter adalah 53.554 t/m. Tabel 2 menampilkan semua hasil secara lengkap.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Sesuai Kedalaman Konstanta Pegas Arah Vertikal (kv) dan Konstanta Pegas Arah Horizontal, kh (kx = ky)

Depth	Li	N-SPT	Ap	E0	a	K0	K	Kh Kx = ky	kv
m	m		m ²			kg/m ³	t/cm ³	t/m	t/m
1	1	0	0,2826	0	1,097	0,000	0	0,00	1071072
2	1	1	0,2826	28	1,097	0,260	259,761	155856,83	535536
3	1	9	0,2826	252	1,097	2,338	2,338	1402,71	357024
4	1	12	0,2826	336	1,097	3,117	3,117	1870,28	267768
5	1	15	0,2826	420	1,097	3,896	3,896	2337,85	214214
6	1	18	0,2826	504	1,097	4,676	4,676	2805,42	178512
7	1	20	0,2826	560	1,097	5,195	5,195	3117,14	153010
8	1	23	0,2826	644	1,097	5,975	5,975	3584,71	133884
9	1	24	0,2826	672	1,097	6,234	6,234	3740,56	119008
10	1	25	0,2826	700	1,097	6,494	6,494	3896,42	107107
11	1	27	0,2826	756	1,097	7,014	7,014	4208,13	97307
12	1	29	0,2826	812	1,097	7,533	7,533	4519,85	89256
13	1	31	0,2826	868	1,097	8,053	8,053	4831,56	82390
14	1	33	0,2826	924	1,097	8,572	8,572	5143,28	76505
15	1	35	0,2826	980	1,097	9,092	9,092	5454,99	71405
16	1	32	0,2826	896	1,097	8,312	8,312	4987,42	66942
17	1	30	0,2826	840	1,097	7,793	7,793	4675,70	63004
18	1	28	0,2826	784	1,097	7,273	7,273	4363,99	59504
19	1	29	0,2826	784	1,097	7,273	7,273	4363,99	56372
20	1	29	0,2826	812	1,097	7,533	7,533	4519,85	53554
21	1	30	0,2826	840	1,097	7,793	7,793	4675,70	51003
22	1	31	0,2826	868	1,097	8,053	8,053	4831,56	48685
23	1	31	0,2826	868	1,097	8,053	8,053	4831,56	48568
24	1	34	0,2826	952	1,097	8,832	8,832	5299,13	44628
25	1	37	0,2826	1036	1,097	9,611	9,611	5766,70	42843
26	1	36	0,2826	1008	1,097	9,351	9,351	5610,85	41195
27	1	24	0,2826	672	1,097	6,234	6,234	3740,56	39669
28	1	32	0,2826	896	1,097	8,312	8,312	4987,42	38253
29	1	38	0,2826	1064	1,097	9,871	9,871	5922,56	36934
30	1	47	0,2826	1316	1,097	12,209	12,209	7325,27	35 702

Sumber : Perhitungan

2) Konstanta Pegas Horizontal

Koefisien respons tanah bawah permukaan adalah horizontal, sesuai persyaratan teknik Jepang.

Modulus deformasi tanah pondasi :

$$E_0 = 28 N$$

$$E_0 = 28 \times 29$$

$$= 812$$

Harga k pergeseran permukaan :

$$k_0 = 0,2 \cdot E_0 \cdot D^{-3/4}$$

$$k_0 = 0,2 \times 812 \times (60)^{-3/4}$$

$$= 7,533 \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

Koefisien k dalam arah mendatar :

$$k = k_0 \cdot y^{-1/2}$$

$$k = 7,533 \times 1^{-1/2}$$

$$= 7,533 \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

Besarnya Konstanta Pegas Kh, (Kx = Ky) untuk arah mendatar di ambil pada badan tiang pondasi yaitu pada kedalaman 3 - 20 meter.

Konstanta Pegas Kh, Kx=Ky untuk arah mendatar adalah sebagai berikut:

$$Kx = Ky = k \times D \times (L2 - L1)$$

$$= 7,533 \times 60 \times (20-19) \times 100$$

$$= 45198 \text{ kg/cm}$$

$$= 45198 \times (1/1000) \times (100/1)$$

$$= 4519,85 \text{ t/m}$$

Maka, contoh nilai koefisien Kh pada kedalaman 20 meter adalah 4519,85 t/m.

U Tabel 2 dan 3 menunjukkan hasil perhitungan nilai konstanta pegas arah vertikal (kv) dan konstanta pegas arah horizontal (kh). Kh (Kx = Ky) lebih lengkap sesuai dengan kedalaman dan juga sesuai pengelompokkan nilai konsistensi.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Sesuai Konsistensi Tanah Konstanta Pegas Arah Vertikal (kv) dan Konstanta Pegas Arah mendatar, kh (kx = ky)

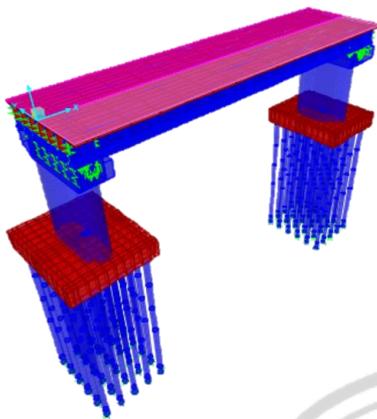
Depth (m)	Li (m)	N- SPT	Konsistensi	Rata- Rata N-SPT	Ap (m ²)	E0	K0	K	a	Kh0	kh	Kh'	Kv
							(kg/cm ³)	(t/cm ³)				(t/m)	(t/m)
1	1	0	Sangat Lunak	0,5	0,28	14	0,14	141,30	0,03	0,01	0,05	0,03	1416,19
2	1	1	Sangat Lunak		0,28								
3	1	9	Medium	9	0,28	252	2,54	2543,40	0,16	0,12	0,79	1,42	5046,18
4	1	12	Kaku	16,25	0,28	455	4,59	4592,25	0,34	82,56	522,46	1325,90	4674,11
5	1	15	Kaku		0,28								
6	1	18	Kaku		0,28								
7	1	20	Kaku		0,28								
8	1	23	Sangat Kaku		0,28								
9	1	24	Sangat Kaku	0,28									
10	1	25	Sangat Kaku	0,28									
11	1	27	Sangat Kaku	0,28									
12	1	29	Sangat Kaku	0,28									
13	1	31	Sangat Kaku	0,28									
14	1	33	Sangat Kaku	0,28									
15	1	35	Sangat Kaku	0,28									
16	1	32	Sangat Kaku	0,28									
17	1	30	Sangat Kaku	0,28									
18	1	28	Sangat Kaku	0,28									
19	1	29	Sangat Kaku	30,32	0,28	848,91	8,57	8567,92	1,33	1136,73	7606,23	36509,90	4462,42
20	1	29	Sangat Kaku	0,28									
21	1	30	Sangat Kaku	0,28									
22	1	31	Sangat Kaku	0,28									
23	1	31	Sangat Kaku	0,28									
24	1	34	Sangat Kaku	0,28									
25	1	37	Sangat Kaku	0,28									
26	1	36	Sangat Kaku	0,28									
27	1	24	Sangat Kaku	0,28									
28	1	32	Sangat Kaku	0,28									
29	1	38	Sangat Kaku	0,28									
30	1	47	Sangat Kaku	0,28									

Sumber : Perhitungan

E. Pemodelan Jembatan

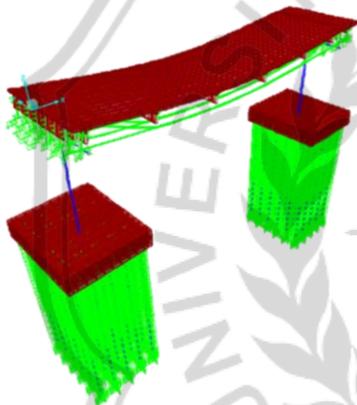
CSI Bridge digunakan untuk memodelkan struktur dan menganalisis kekuatan strukturnya, versi yang digunakan adalah CSI Bridge V.21. Kriteria desain berikut digunakan dalam pemodelan struktural berdasarkan dokumen perencanaan.

Dengan menyesuaikan konsistensi tanah berdasarkan data SPT, nilai pegas konstan digunakan pada setiap 1 meter saat memodelkan jembatan dengan penyangga interaksi tanah 1. Hasilnya akan lebih detail jika jarak konstanta pegas semakin dekat.

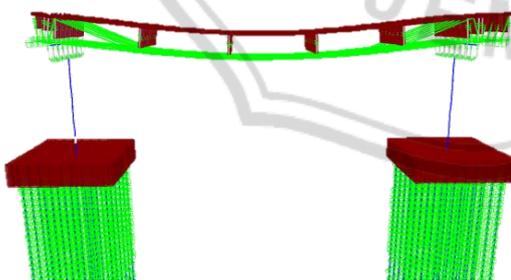


Gambar 4 Pemodelan Jembatan
 Sumber : Aplikasi CSI Bridge V.21

F. Hasil Analisa CSI Bridge V.21



Gambar 5 Deformasi Akibat Beban yang Bekerja
 Sumber : Aplikasi CSI Bridge V.21



Gambar 6 Deformasi Akibat Beban yang Bekerja
 Sumber : Aplikasi CSI Bridge V.21

G. Kapasitas Tiang Pancang

1) Analisa Daya Dukung Vertikal
 Menggunakan temuan uji SPT (Meyerhoff) untuk menentukan kekuatan tiang pancang. Menurut Meyerhoff, daya dukung tiang

pancang vertikal ditentukan secara empiris dengan menggunakan nilai N berdasarkan uji SPT sebagai berikut:

a) Spesifikasi Tiang Pancang

Dimensi Penampang = 0,6 m

Panjang Pondasi Keseluruhan = 20 m

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang (Ap)} &= 1/4 \times \pi \times D^2 \\ &= 1/4 \times 3,14 \times (0,6^2) \\ &= 0,2826 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling Penampang (Ast)} &= \pi \times D \\ &= 3,14 \times 0,6 \\ &= 1,884 \text{ m} \end{aligned}$$

Jenis Pondasi = Tiang Pancang Lingkaran

b) Daya Dukung Vertikal Tiang

Nilai N pada ujung tiang

N1 = 29

- Nilai N rata-rata 8D dari ujung tiang keatas
 $8D = 8 \times 0,6 = 5 \text{ m}$

Di dapat Nilai N Spt pada kedalaman
 $20 \text{ m} - 5 \text{ m} = 15 \text{ m}$
 sebesar N = 35

- Nilai N rata-rata 3D dari ujung tiang kebawah
 $3D = 3 \times 0,6 = 2 \text{ m}$

Di dapat Nilai N Spt pada kedalaman
 $20 \text{ m} + 2 \text{ m} = 22 \text{ m}$
 sebesar N = 31

- Nilai N rata-rata
 $N = (35 + 31) / 2 = 33$

- Daya dukung ujung tiang
 $Qp = 40 \times N \text{-SPT} \times Ap = 40 \times 36 \times 0,2826 = 373,03 \text{ ton}$

- Gaya gesek pada keliling tiang
 Untuk tanah lempung digunakan 0,5
 $F = 0,5 \times N \text{ SPT (pada tiap kedalaman)} = 0,5 \times 29 \text{ (Contoh N SPT kedalaman 20 m)} = 14,5$

- Daya dukung gesek tiang
 $Qsi = As \times li \times fi = 1,884 \times 1 \times 10 = 18,84$

- Daya dukung ultimit
 $Qult = Qp + \sum Qsi = 373,03 + 422,96$

- $$= 795,99 \text{ ton}$$

• Daya Dukung Ijin

$$Q_{all} = (Q_p + \sum Q_{si}) / S_f$$

$$= (373,03 + 422,96) / 3$$

$$= 795,99 / 3$$

$$= 265,33 \text{ ton}$$

• Efisiensi Tiang Pancang

$$\phi = \tan^{-1} x \frac{D}{5}$$

$$= \tan^{-1} x \frac{0,6}{14,13}$$

$$= 2,43$$

- $$E_g = 1 - (\phi \times \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn})$$

$$= 1 - (2,43 \times \frac{(1-1)10 + (10-1) \times 1}{90 \times 10 \times 1})$$

$$= 0,98$$

• Daya Dukung Tiang Pancang

$$Q = Q_{all} \times E_g$$

$$= 265,33 \times 0,98$$

$$= 260,02 \text{ ton}$$

Maka didapat daya dukung vertical (Dv) sebesar 260,02 ton. Untuk hasil lebih lengkap dapat dilihat pada table dibawah.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Daya Dukung Ijin Tiang

Depth (m)	Li (m)	N- SPT	Konsistensi Tanah	8D	3D	Rata - Rata N	Qu	f	Qsi	Ru=(qu+f)	Ra=(qu+f)/3	
							(ton)					
1	1	0	Sangat Lunak					0,00	0,00			
2	1	1	Sangat Lunak					0,50	0,94			
3	1	9	Medium					4,50	8,48			
4	1	12	Kaku					6,00	11,30			
5	1	15	Kaku					7,50	14,13			
6	1	18	Kaku					9,00	16,96			
7	1	20	Kaku					10,00	18,84			
8	1	23	Sangat Kaku					11,50	21,67			
9	1	24	Sangat Kaku					12,00	22,61			
10	1	25	Sangat Kaku	5	2	33	373,03	12,50	23,55	755,99	2387,97	
11	1	27	Sangat Kaku					13,50	25,43			
12	1	29	Sangat Kaku					14,50	27,32			
13	1	31	Sangat Kaku					15,50	29,20			
14	1	33	Sangat Kaku					16,50	31,09			
15	1	35	Sangat Kaku					17,50	32,97			
16	1	32	Sangat Kaku					16,00	30,14			
17	1	30	Sangat Kaku					15,00	28,26			
18	1	28	Sangat Kaku					14,00	26,38			
19	1	29	Sangat Kaku					14,00	26,38			
20	1	29	Sangat Kaku					14,50	27,32			
21	1	30	Sangat Kaku	JUMLAH						422,96		
22	1	31	Sangat Kaku									
23	1	31	Sangat Kaku									
24	1	34	Sangat Kaku									
25	1	37	Sangat Kaku									
26	1	36	Sangat Kaku									
27	1	24	Sangat Kaku									
28	1	32	Sangat Kaku									
29	1	38	Sangat Kaku									
30	1	47	Sangat Kaku									

Sumber : Perhitungan

2) Analisa Daya Dukung Lateral

Asumsi keruntuhan geser tanah, yang terjadi pada tiang pancang pendek, dan tekukan tiang, yang dikendalikan oleh ketahanan luluh

plastis dari penampang tiang, yang tetap berlaku untuk tiang pancang panjang, membuat Broms (1965) merancang solusi yang disederhanakan untuk tiang yang dibebani secara lateral.

- Kapasitas tiang lateral berdasarkan kekuatan tanah

Data tanah :

$$\begin{aligned} N\text{-SPT} &= 36 \\ Cu &= 0,5 \times N\text{-SPT} \\ &= 0,5 \times 36 \\ &= 18 \\ Es &= 50 \times Cu \\ &= 50 \times 18 \\ &= 900 \\ \mu s &= 0,3 \\ k &= \frac{Es}{1-\mu s^2} \\ &= \frac{900}{1-0,3^2} \\ &= 989,01 \end{aligned}$$

Data bahan pondasi:

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan beton} &= 52 \text{ Mpa} \\ \text{Tegangan ijin beton} &= 0,3 \times f_c' \times 1000 \\ &= 0,3 \times 52 \times 1000 \\ &= 15600 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastik} &= 4700 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \times \sqrt{52} \\ &= 33892,182 \text{ Mpa} \\ &= 33892182 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia tiang} &= \frac{1}{64} \times (3,14 \times D^4) \\ &= \frac{1}{64} \times (3,14 \times 0,6^4) \\ &= 0,0063585 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_p \times I_p &= 33892182 \times 0,0063585 \\ &= 215503,4 \end{aligned}$$

Menentukan tiang Panjang atau pendek

$$\begin{aligned} R &= \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{k}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{215503,44}{989,01}} \\ &= 3,842 \end{aligned}$$

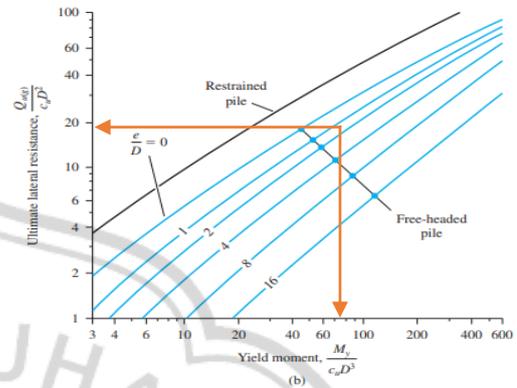
$$\begin{aligned} \text{Panjang Pondasi Tiang} &= 20 \text{ m} \\ \text{Tiang Panjang, } 3,5 R &= 3,5 \times 3,842 \\ &= 13,447 \\ \text{Tiang Pendek, } 2 R &= 2 \times 3,842 \\ &= 7,684 \end{aligned}$$

$$\text{nilai } L \geq 3,5 R = 20 \geq 13,447$$

Tiang pancang diasumsikan panjang karena tingginya 20 meter pada L 3,5 R. Dipercaya bahwa tiang pancang bersifat elastis (*free head*) dengan ujung bebas.

$$\begin{aligned} M \text{ crack} &= 290 \\ Cu &= 18 \\ D^3 &= 0,6^3 \\ &= 0,216 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma \text{ Moment} &= \frac{My}{Cu \times D^3} \\ &= \frac{290}{18 \times 0,216} \\ &= 74,59 \end{aligned}$$



Gambar 7 Grafik Tiang Pancang

Sumber : Fauziyah, 2020

$$\begin{aligned} \text{Ultimate Resistance} &= \frac{Q_{ult}}{Cu \times D^2} \approx 19 \\ Q_{ult} &= 19 \times 18 \times 0,6^2 \\ &= 123,12 \text{ ton} \end{aligned}$$

Menurut perhitungan diatas maka daya dukung lateral (Dh) adalah sebesar 123,12 ton.

H. Kontrol Daya Dukung Vertikal

Ambil nilai F3 terbesar:

$$\begin{aligned} Q \text{ (Hasil SAP 2000)} &= 1644,707 \text{ kN} \\ &= 167,71 \text{ ton} \end{aligned}$$

Kontrol Daya Dukung vertikal (Dv) :

$$\begin{aligned} Q \text{ Hitung} &> Q \text{ (Hasil SAP 2000)} \\ 260,02 \text{ ton} &> 167,71 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

I. Kontrol Daya Dukung Lateral

Ambil jumlah nilai antara F1 atau F2 terbesar

$$\begin{aligned} Q \text{ (Hasil SAP 2000)} &= 941,214 \text{ kN} \\ &= 95,98 \text{ ton} \end{aligned}$$

Kontrol Daya Dukung vertikal (Dv) :

$$\begin{aligned} Q_{ult} \text{ Hitung} &> Q \text{ (Hasil SAP 2000)} \\ 123,12 \text{ ton} &> 95,977 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

J. Pembahasan

Berdasarkan tabel 4.26 dan hasil analisa non interaksi diperoleh perbedaan antara hasil interaksi (SAP 2000) dan non interaksi (perhitungan) sebesar 92,31 ton atau sebesar 55,04% dalam posisi aman (memenuhi) untuk daya dukung vertikal (dv). Sedangkan untuk daya dukung lateral (dh) dapat dilihat pada tabel 4.27 dan hasil analisa non interaksi diperoleh perbedaan hasil interaksi (SAP 2000) dan non

interaksi (perhitungan) sebesar 27,143 ton atau 28,28% dalam posisi aman (memenuhi).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pemodelan pada aplikasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Untuk kapasitas pondasi tiang pancang pada proyek Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya di dapatkan sebagai berikut:
 - a. Daya dukung vertical (dv) : 167,71 ton
 - b. Daya dukung lateral (dh) : 95,98 ton
2. Berdasarkan Hasil perhitungan melalui tahap kontrol untuk daya dukung pondasi tiang pancang pada arah vertical (Dv) diperoleh perbedaan antara hasil interaksi (SAP 2000) dan non interaksi (perhitungan) sebesar 95,08 ton atau sebesar 55,04% dalam posisi aman (memenuhi) dan Daya dukung Lateral/Horizontal (Dh) perbedaan antara hasil interaksi (SAP 2000) dan non interaksi (perhitungan) sebesar 27,143 ton atau sebesar 28,28% dalam posisi aman (memenuhi)

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Peninjauan lebih lanjut terhadap pengaruh jarak spring yang berbeda.
2. Peninjauan lebih lanjut terhadap pengaruh klasifikasi site tanah yang berbeda

6. DAFTAR PUSTAKA

Aunurrifa, N. L. (2020). *Studi Kapasitas Pondasi Tiang Pancang Pada Susunan Tiang Yang Tidak Beraturan Dengan Sistem Tumpuan Pegas*. 1–13.

Fauziyah, N. M. (2020). *Evaluasi Penurunan Daya Dukung Tiang Pancang akibat Negative Skin Friction*.

Husnah. (2013). *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Pondasi Tissue Block 5 & 6*. 73.

Jannah, K. R., Alihudien, A., & Suhartinah. (2019). *Studi Alternatif Konstruksi Jalan Menggunakan Konstruksi Timbunan Dengan Tanah Dasar Diperbaiki Menggunakan*

Kombinasi Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain. 16–26.

Lubis, A. F. (2019). *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Secara Analitis Dan Numeris Pada Proyek Jalan Tol Medan - Binjai Seksi IA Jembatan Sei Deli STA 1+600*.

Pagehgiri, J. (2015). *Analisis Penggunaan Pondasi Mini Pile Pondasi Borpile Terhadap Biaya Dan Waktu Pelaksanaan Pembangunan Ruang Kelas SMPN 10 Denpasar*. 8(1).

Putri, A. N., Mochtar, N. E., & Arif, M. (2020). *Perencanaan Timbunan di Belakang Pangkal Jembatan Sebagai Alternatif Pengganti Slab on Pile (Studi Kasus Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya)*. 9(1).

Setiyo, D., Suhendra, & M. Nuklirullah. (2019). *Analisa Daya Dukung Tanah Untuk Pondasi Tiang Pancang Pada Rencana Pembangunan Komplek Pendidikan Islam Al Azhar 57 Jambi*. 4(2), 80–92. <https://doi.org/10.33087/civronlit.v4i2.54>

SNI. (2008). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan*.

SNI. (2016). *Pembebanan Untuk Jembatan*.

Solikhati, Y. (2011). *Pengertian dan Macam Pondasi*.

Takaredase, J. M. (2016). *Tinjauan Perencanaan Pondasi Metode Pelaksanaan Pada Pembangunan Gedung Auditorium Politeknik Negeri Manado*.

Utama, I. W. (2015). *Alternatif Perencanaan Jalan Lingkar Luar Timur Dengan Variasi Slab On Pile dan Pier Head STA 14+500 - 15+600 Surabaya, Propinsi Jawa Timur*.