

**MODIFIKASI STRUKTUR *INTERFACE* TIPE *DECK-ON-PILE* UNTUK MENDUKUNG
FUNGSI GANDA: JEMBATAN DAN *CONTAINER YARD* STUDI KASUS TERMINAL
KALIBARU PELABUHAN TANJUNG PRIOK**

Nur Laili Safitri¹, Muhammad Agung Prasetyo¹, Sulastri¹, Wahyu Inggar Fipiana¹

¹²³*Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Borobudur,
Jl. Raya Kalimalang No.1 Kota Jakarta Timur. Telp/fax: 021-8613877*

**Email: nurlailisafitri09@gmail.com*

ABSTRAK

Studi ini membahas modifikasi struktur dermaga *interface* pada Terminal Petikemas Kalibaru, Pelabuhan Tanjung Priok atau NPCT (*New Priok Container Terminal*), dimana kondisi existing berfungsi sebagai jembatan penghubung antara *container yard* eksisting (CY-57) dengan area reklamasi, kini bertambah fungsi menjadi area cadangan penumpukan *container*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui keadaan desain struktur terhadap beban yang bekerja pada struktur dan mengetahui gaya-gaya yang terjadi serta pengaruh penurunan daya fondasi akibat memodifikasi struktur *deck-on-pile interface*. Analisis struktur menggunakan *software* SAP2000 sedangkan analisis pondasi tiang pancang dianalisis dengan Ensoft LPILE, dan penggambaran teknis dengan AutoCAD. Hasil penelitian menunjukkan struktur *Interface* lebih besar dibandingkan dari desain aslinya dikarenakan adanya penambahan beban tumpukan *container* dan adanya aktivitas Loading Unloading dan Dimensi elemen strukturnya pun berubah dari desain awalnya baik itu pada fondasi, pilecap, balok dan pelat. Studi ini menunjukkan bahwa modifikasi *interface deck-on-pile* dapat mendukung fungsi ganda sebagai jembatan penghubung dan area cadangan penumpukan *container* secara efektif dan aman.

Kata kunci: Struktur *interface*, *Deck on pile*, *Container*, SAP2000, Ensoft LPILE

ABSTRACT

This study discusses the modification of the interface pier structure at the Kalibaru Container Terminal, Tanjung Priok Port or NPCT (New Priok Container Terminal), where the existing condition functions as a connecting bridge between the existing container yard (CY-57) and the reclamation area, now it has an additional function as a container storage reserve area. The purpose of this study is to determine the reliability of the structural design against the loads acting on the structure and to determine the forces that occur and the effect of the reduction in foundation strength due to modifying the interface deck-on-pile structure. Structural analysis uses SAP2000 software while pile foundation analysis is analyzed with Ensoft LPILE, and technical drawing with AutoCAD. The results of the study show that the Interface structure is larger than the original design due to the addition of container stack loads and Loading Unloading activities and the dimensions of the structural elements have changed from the initial design both in the foundation, pilecap, beam and plate. This study shows that the modification of the deck-on-pile interface can support dual functions as a connecting bridge and a container storage reserve area effectively and safely.

Keywords: Interface structure, Deck on pile, Container, SAP2000, Ensoft LPILE

PENDAHULUAN

Struktur interface berupa deck-on-pile merupakan area atau titik pertemuan antara dua elemen struktural yang berbeda yaitu, menghubungkan CY-57 (container yard eksisting) dengan area reklamasi. Modifikasi desain terletak pada fungsi struktur interface yang tadinya hanya berfungsi sebagai area jembatan (jalan akses) antara container yard eksisting dengan reserved area, kini mendukung fungsi ganda yaitu juga untuk cadangan container yard. Maka dari itu, akan didesain terdapat penambahan beban penumpukan container 20 ft dan container 40 ft selain beban dari area jembatan berupa truk dan reach stacker.

Sesuai dengan Laporan Tahunan PT Pelabuhan Indonesia 2024, ditemukan bahwa volume pelayanan container meningkat sekitar 7.1 % dibandingkan tahun sebelumnya, dengan total penanganan mencapai lebih dari 12 juta TEUs. Ditemukan juga bahwa luasan buffer area pada CY-57 semakin berkurang dikarenakan menjadi area cadangan penumpukan container. Dengan demikian, cadangan area untuk container pada struktur interface akan bermanfaat jika ada kebutuhan kapasitas penumpukan container yard yang mendesak.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dapat diuraikan bagaimana memodifikasi struktur interface dengan adanya penambahan fungsi container yard serta beban-beban apa saja yang berpengaruh pada perencanaan struktur interface, perancangan elemen beton pracetak meliputi pelat, balok, pilecap, dan tiang pancang pada struktur interface serta pengaruhnya terhadap daya dukung pondasi serta penurunannya selain itu dalam konstruksi, lantai tidak hanya dipandang sebagai permukaan horizontal, tetapi juga sebagai elemen struktural yang berpengaruh terhadap kenyamanan, kekuatan, dan stabilitas bangunan secara keseluruhan (Anggraeni, 2025).

Untuk perhitungan analisis strukturnya akan menggunakan bantuan perangkat lunak SAP2000, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perhitungan struktur dan mengetahui gaya-gaya yang terjadi serta pengaruh penurunan daya fondasi akibat memodifikasi struktur deck-on-pile interface dengan adanya penambahan fungsi cadangan container yard. Analisa menggunakan program

bantu SAP2000 sedangkan analisis titik jepit pondasinya dengan software Ensoft LPILE. penggambaran strukturnya melalui AutoCAD.

METODE PENELITIAN

a. Data Perencanaan

Perencanaan dimensi elemen struktur interface meliputi pelat lantai, balok, pilecap, dan tiang pancang.

b. Pengumpulan Data

Peta batimetri adalah peta yang menggambarkan topografi dasar dengan menunjukkan kedalaman dan kontur dasar secara detail yang diukur dari posisi 0.0m LWS (Lowest Water Spring). Alat ukur yang digunakan adalah MBES (Multi Beam Echo Sounder), kemampuannya mengumpulkan data kedalaman pada banyak titik secara simultan, sehingga mempercepat proses pemetaan batimetri dengan resolusi tinggi dan cakupan area yang lebih luas (Viala *et al.*, 2021). Data tanah, data layout eksisting.

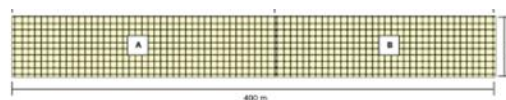
Data oseanografi meliputi : data pasang surut, data arus, data angin

c. Pembuatan Pemodelan Struktur

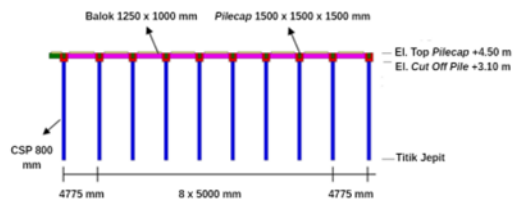
Pemodelan 3D deck on pile interfase serta potongan baik tampak atas dan melintang struktur inteface dilakukan untuk untuk dianalisis dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SAP2000. Pemodelan ditunjukkan pada Gambar 1, 2 dan 3.



Gambar 1. Model 3D - Deck-on-pile Interface



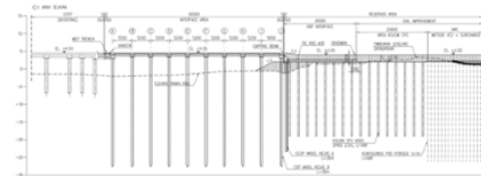
Gambar 2. Tampak Atas - Deck-on-pile Interface



Gambar 3. Model Potongan Melintang Struktur Interface



Gambar 4. Kondisi Eksisting Area Interface

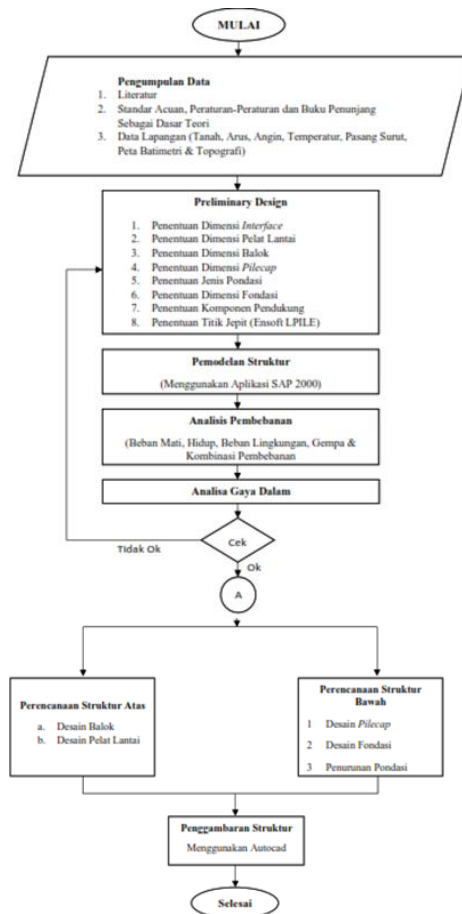


Gambar 5. Kondisi Awal Struktur Interface

Gambar 4 dan Gambar 5 memperlihatkan kondisi existing area interface serta kondisi awal struktur dan untuk analisis pondasinya dengan program Ensoft LPILE, serta penggambaran strukturnya melalui AutoCAD.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan hasilnya berupa angka yang dituangkan ke dalam bentuk tabel, yang merupakan hasil perhitungan struktur pelat melalui metode, standart, dan software yang digunakan. Adapun bagan alir metode penelitian dapat dilihat dibawah ini.

Bagan Metode Penelitian



Lokasi Pekerjaan Rancang dan Bangun Terminal Kalibaru 1B Pelabuhan Tanjung Priok ini berada di Jalan Terminal Kalibaru Raya, Kelurahan Kali Baru, Kecamatan Cilincing, Kota Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Peta lokasi pekerjaan ditunjukkan pada gambar berikut. Kali Baru, Kecamatan Cilincing, Kota Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Lokasi Pekerjaan Terminal Kalibaru



Gambar 7. Lokasi Tinjauan

Elevasi struktur interface mengacu pada elevasi rata-rata eksisting di CT 1, yaitu +4.50 mLWS. Adapun lebarnya berdasarkan rata-rata bibir pantai area reklamasi sebelah utara dan panjang interface disesuaikan dengan eksisting CY 57, yakni 51.55 m dan 400 m.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur

Perencanaan analisis struktur menggunakan software SAP2000 versi 21. Sistem struktur yang digunakan pada model interface ini yaitu strong beam weak column maka stiffness modifier untuk balok dan pilecap yaitu 0.5 (ASCE 61-14). Berdasarkan ASCE 61-14 stiffness bagian pelat digunakan 0.5 dan stiffness modifier yang digunakan untuk pile yaitu 0.7 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat-sifat bagian elastis untuk komponen Pier dan Wharf

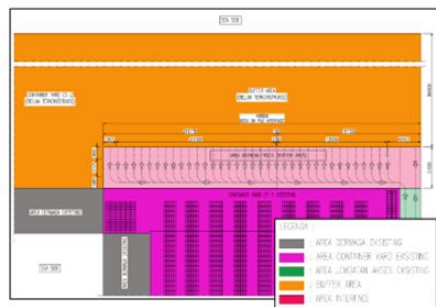
Pier or wharf component	EI_{eq}/EI_p
Reinforced concrete pile	$0.3 + N/(f'_c A_g)$
Pile/deck dowel connection ^a	$0.3 + N/(f'_c A_g)$
Prestressed pile ^a	$0.6 < EI_{eq}/EI_p < 0.75$
Steel pile	1.0
Concrete pile with steel casing	$(E_c I_c + 0.25 E_s I_s)/(E_c I_c + E_s I_s)$
Deck	0.5

^aThe pile/deck connection and prestressed pile may also be approximated as one member with an average stiffness of $EI_{eq}/EI_p = 0.42$.

Preliminary Desain

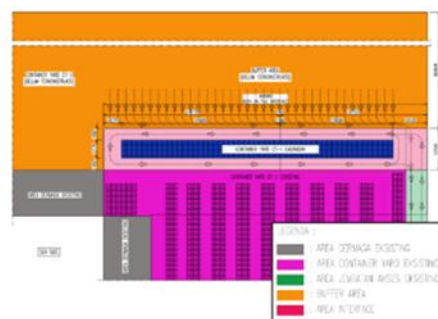
Struktur Interface berupa deck dengan ukuran total 400 m x 51.55 m yang ditumpu oleh tiang pancang beton (concrete spun pile, CSP) berdiameter 800 mm. Terdapat 2 (dua) deck utama yang dipisahkan oleh dilatasi sebesar 100 mm, balok deck berukuran 1250 mm x 1000 mm dengan pilecap berdimensi 1500 mm x 1500.

Pada fungsi yang pertama interface berfungsi sebagai jembatan penghubung menuju buffer area sebelum terminal CT-2, yang dirancang untuk dilewati serta memungkinkan area parkir bagi truk container, sekaligus sebagai jalur lintasan bagi alat berat pengangkat container seperti reach stacker. Fungsi sebagai jembatan penghubung dan container yard, dapat dilihat pada Gambar 8.



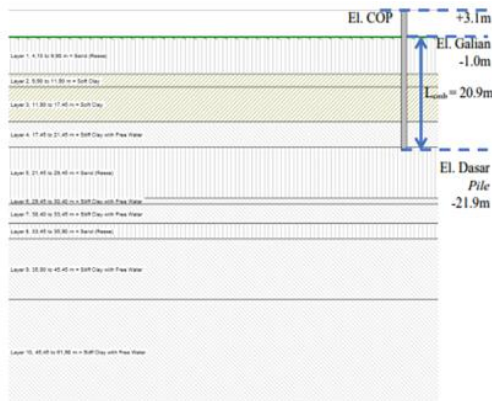
Gambar 8. Layout fungsi Interface sebagai Jembatan penghubung

Pada fungsi yang kedua, interface berperan sebagai jembatan penghubung sekaligus container yard tambahan yang digunakan untuk menampung container apabila area container yard eksisting memerlukan ruang penumpukan ekstra. Selain itu, interface ini juga berfungsi sebagai jembatan akses menuju buffer area sebelum terminal CT-2, dirancang untuk dilewati dan menyediakan area parkir bagi truk container, serta menjadi area penumpukan container dengan konfigurasi blok tumpukan hingga maksimal lima lapis dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Layout fungsi Interface sebagai Container Yard & Jembatan penghubung

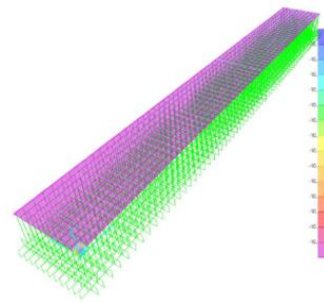
Analisis kedalaman titik jepit dilakukan dengan bantuan software LPILE dengan memodelkan tanah dan tiang tunggal ketika diberi deformasi sebesar deformasi izin maksimum yaitu 100 mm pada kepala tiang. Parameter desain tanah dibuat berdasarkan data penyelidikan tanah dan hasil laboratorium. Pada kondisi gempa, lapisan tanah terlikuefaksi dimodelkan sebagai “liquefiable sand” atau pasir yang menimbulkan likuefaksi seperti dilihat pada Gambar 10.



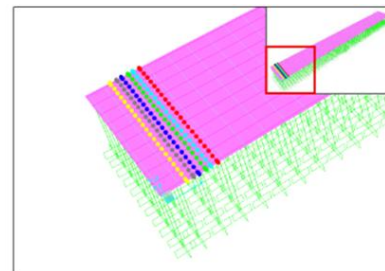
Gambar 10. Pemodelan Titik Jepit pada LPILE (Free Standing 4.1 m) data B-01 (Kondisi Servis)

Analisa Pembebanan Struktur

Pembebanan yang digunakan terdiri atas beban mati, terdiri dari berat sendiri struktur/ DL (Dead Load) dan berat mati tambahan/ SDL (Superimposed Dead Load) (SNI 1725-2016). Beban hidup adalah semua beban bergerak termasuk orang, peralatan, perlengkapan lain, partisi yang bergerak, bagian dari peralatan yang dibongkar, dan material-material yang sifatnya disimpan sementara. Beban hidup terdistribusi merata di atas deck/ lantai struktur atau disebut juga dengan UDL (Uniformly Distributed Load) diperhitungkan sebesar 1 ton/m² (10 kN/m) dapat dilihat pada Gambar 11 dan 12. Beban hidup dapat berupa beban hidup merata ataupun beban terpusat.



Gambar 11. Pembebanan UDL 10 kN/m² kasus 1 (Beban Merata)



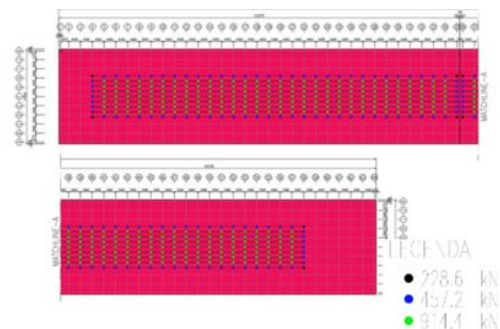
Gambar 12. Pemodelan Jalur Moving Load Pembebanan Truk Pembebanan Truk Skema 1 (Searah Sumbu Y)

Beban Reach Stacker

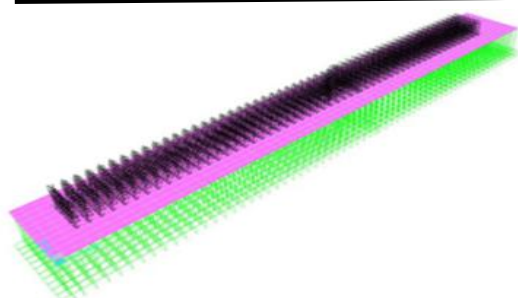
Reach Stacker yang beroperasi di area struktur interface adalah reach stacker dengan kondisi travelling & laden.

Beban Stockyard Container

Pemodelan pembebanan container dimodelkan sebagai static load, beban di input pada frame sesuai dengan titik tumpuan penumpukan container Secara umum untuk denah titik pembebanan stockyard dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Denah Titik Pembebanan Stockyard Container



Gambar 14. Pembebanan Stockyard Container (5 Tumpukan)

Pemodelan pada container yang digunakan adalah tipe container 20' dan 40'. Penumpukan container pada area struktur interface akan direncanakan dengan beban sebanyak 5 tumpukan container. pemodelan pembebanan stockyard container, ditunjukkan pada Gambar 14.

Beban Lingkungan

Beban arus pada struktur dermaga menggunakan persamaan dari BS 6349-1-2:2016, dengan kecepatan arus yang diperhitungkan dalam perencanaan struktur adalah :

- 1) 1.00 knot untuk kondisi operasional = 0.514 m/s

C_D	=	1.1	
V_1 (operasional)	=	0.514	m/s
A_n	=	3.904	m ²
F_{D1}	=	0.582	N

- 2) 1.50 knots untuk kondisi ekstrem = 0.771 m/s

C_D	=	1.1	
V_2 (ekstrem)	=	0.772	m/s
A_n	=	3.904	m ²
F_{D2}	=	1.311	N

Beban angin dihitung menggunakan persamaan dari BS 5400-2:1978, dengan kecepatan angin yang diperhitungkan dalam perencanaan struktur adalah:

- 1) 40 km/jam untuk kondisi operasional = 11.11 m/s

q_1 (operasional)	=	75.528	N/m ²
A_1 (deck)	=	75.750	m/s
C_D (deck)	=	0.8	m ²
P_1 (deck)	=	4.577	N

q_1 (operasional)	=	75.528	N/m ²
A_2 (deck)	=	2.4	m/s
C_D (deck)	=	0.8	m ²
P_1 (deck)	=	0.145	N

- 2) 120 km/jam untuk kondisi ekstrem = 33.33 m/s

q_2 (ekstrem)	=	679.750	N/m ²
A_1 (deck)	=	75.750	m/s
C_D (deck)	=	0.8	m ²
P_2 (deck)	=	41.193	N

q_2 (ekstrem)	=	679.750	N/m ²
A_2 (deck)	=	2.4	m/s
C_D (deck)	=	0.8	m ²
P_2 (deck)	=	1.305	N

Baik itu beban mati, beban hidup terpusat maupun merata serta beban lingkungan. Semuanya akan diperhitungkan juga dianalisis dengan standar kombinasi pembebanan yang digunakan adalah Port of Long beach (POLB) dan SNI 1726-2019. Analisa gaya dalam diperoleh dari output SAP2000 yang meliputi, momen lentur, gaya geser, pengecekan terhadap torsi, reaksi tumpuan atau nilai gaya aksial. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 12, diafragma adalah elemen horizontal struktur yang menyalurkan gaya yang bekerja ke elemen vertikal sistem penahan gaya gempa (Andra *et al.*, 2024).

Kombinasi beban dirancang untuk perencanaan struktur, komponen-elemen struktur, dan elemen-elemen pondasi. Kombinasi beban pada kondisi operasional mengacu pada POLB (Port of Long Beach) Ver.4 tanpa memperhitungkan kombinasi beban sandar dan tambat kapal, dan untuk kondisi beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019. Untuk load kombinasi dapat dilihat pada Gambar 15.

No.	Kombinasi	Dead Load					Surge					Wind Load					Rasio	Rasio
		DL	SL	LL	LL	LL	WSL.1	WSL.2	WSL.3	WSL.4	WSL.5	WSL.6	WSL.7	WSL.8				
1	COMB-ULTR-1	1.00	1.00															
2	COMB-ULTR-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
3	COMB-ULTR-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
4	COMB-ULTR-4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
5	COMB-ULTR-5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
6	COMB-ULTR-6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
7	COMB-ULTR-7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
8	COMB-ULTR-8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
9	COMB-ULTR-9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
10	COMB-ULTR-10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
11	COMB-ULTR-11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
12	COMB-ULTR-12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
13	COMB-ULTR-13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
14	COMB-ULTR-14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
15	COMB-ULTR-15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
16	COMB-ULTR-16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
17	COMB-ULTR-17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
18	COMB-ULTR-18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
19	COMB-ULTR-19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
20	COMB-ULTR-20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
21	COMB-ULTR-21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
22	COMB-ULTR-22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
23	COMB-ULTR-23	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
24	COMB-ULTR-24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
25	COMB-ULTR-25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
26	COMB-ULTR-26	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
27	COMB-ULTR-27	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
28	COMB-ULTR-28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
29	COMB-ULTR-29	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		

Gambar 15. Load Combination Ultimate

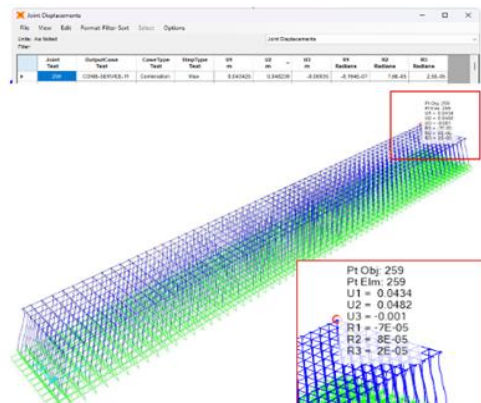
No.	Kombinasi	Dead Load					Surge					Live Load					Rasio	Rasio
		DL	SL	EL	EL	EL	WSL.1	WSL.2	WSL.3	WSL.4	WSL.5	WSL.6	WSL.7	WSL.8				
1	COMB-SERV-1	1.00	1.00															
2	COMB-SERV-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
3	COMB-SERV-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
4	COMB-SERV-4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
5	COMB-SERV-5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
6	COMB-SERV-6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
7	COMB-SERV-7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
8	COMB-SERV-8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
9	COMB-SERV-9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
10	COMB-SERV-10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
11	COMB-SERV-11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
12	COMB-SERV-12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
13	COMB-SERV-13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
14	COMB-SERV-14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
15	COMB-SERV-15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
16	COMB-SERV-16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
17	COMB-SERV-17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
18	COMB-SERV-18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
19	COMB-SERV-19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
20	COMB-SERV-20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
21	COMB-SERV-21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
22	COMB-SERV-22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
23	COMB-SERV-23	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
24	COMB-SERV-24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
25	COMB-SERV-25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
26	COMB-SERV-26	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
27	COMB-SERV-27	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
28	COMB-SERV-28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
29	COMB-SERV-29	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		

Gambar 16. Allowable Stress Design (ASD)

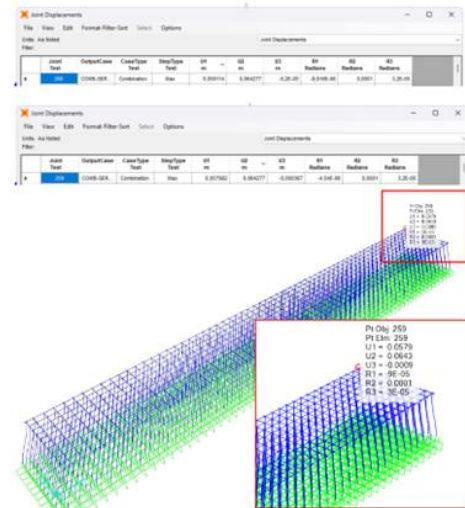
Pada perencanaan gempa pada struktur Interface, beban hidup merata yang diperhitungkan dalam analisis dan perencanaan adalah sebesar 10% dari beban hidup merata rencana (10% UDL LL). Dapat dilihat pada Gambar 16.

Hasil Analisis Defleksi Simpangan Horizontal

Berdasarkan Gambar 17 terlihat batas defleksi simpangan horizontal maksimum struktur pada kondisi operasional adalah H/300 untuk beban servis dan tidak lebih dari 100 mm untuk beban gempa, dengan H adalah tinggi struktur sampai dengan level titik jepit fondasi. Deformasi lateral akibat beban servis struktur interface sebesar 48 mm, sedangkan batasan izin sebesar $17100 \text{ mm}/300 = 57 \text{ mm}$,



Gambar 17. Defleksi Horizontal Maksimum akibat Beban Servis Deck Interface

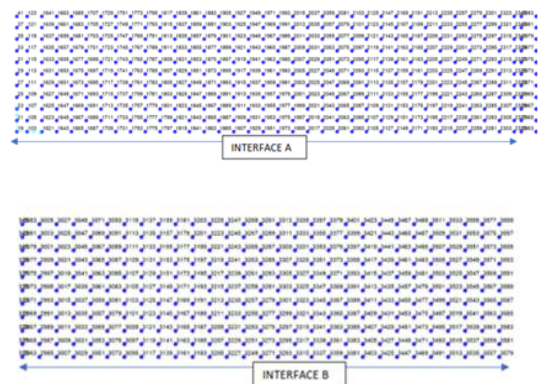


Gambar 18. Defleksi Horizontal Maksimum Akibat Beban Lateral Gempa Deck Interface

Pada Gambar 18 terlihat deformasi lateral yang terjadi masih lebih kecil dari batasan izin. Deformasi lateral akibat beban gempa struktur interface sebesar 64.7 mm dengan batasan izin 100 mm, maka deformasi akibat beban gempa SNI yang terjadi masih lebih kecil dari batasan izin.

Hasil Reaksi Perletakan

Pada Gambar 19 ditampilkan pemodelan reaksi perletakan tiang interface yang didapatkan dari analisa struktur menggunakan SAP2000.



Gambar 19. Denah Reaksi Tiang Interface

Pada Gambar 20 ditampilkan gaya aksial dan momen yang terjadi dari hasil reaksi perletakan yang didapatkan dari analisa struktur menggunakan SAP2000 hasil analisis gaya axial dan momen yang terjadi pada CSP 800.

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StrapType	#	V2	V3	T	M2	M3
Test	Test	Test	Test	Test	Test	kN	kN	kN	kNm	kNm
4338	4.10000	COMB-ULTMP-15	Combination	Min	81.03	130.84	3.90	17.34	0.00	242.03
4439	0.83333	COMB-ULTMP-29	Combination	Max	82.76	143.21	10.49	11.71	0.50	238.03
4371	0.75000	COMB-ULTMP-14	Combination	Min	1.17	132.04	1.00	26.74	0.13	127.28
4354	4.25000	COMB-ULTMP-27	Combination	Max	1.87	138.96	2.89	3.35	1.03	0.98
4446	4.10000	COMB-ULTMP-2	Combination	Min	14.00	87.28	15.48	0.75	0.31	105.13
4439	0.83333	COMB-ULTMP-2	Combination	Max	25.34	143.82	14.73	0.54	0.70	143.82
4350	1.40000	COMB-ULTMP-13	Combination	Min	3.87	80.22	2.72	1.204.80	3.98	89.72
4355	3.40000	COMB-ULTMP-13	Combination	Max	12.87	111.40	2.50	1.075.61	0.48	107.18
4350	3.40000	COMB-ULTMP-13	Combination	Min	10.07	829.85	0.12	823.18	2.23	131.59
4445	4.25000	COMB-ULTMP-2	Combination	Max	18.75	144.51	3.74	23.69	1.11	1.21
4307	4.02000	COMB-ULTMP-23	Combination	Min	27.80	85.03	7.08	225.35	0.34	1.124.08
4351	1.00000	COMB-ULTMP-27	Combination	Max	38.75	844.85	1.15	14.07	0.42	1.068.20

Gambar 20. Gaya Axial dan Momen Maksimal pada CSP 800

Analisis Penulangan Balok

Pada Tabel 2 ditampilkan hasil analisa struktur interface dengan aplikasi SAP2000, gaya dalam yang dipakai untuk mendesain balok CB 1250 x 1000 mm untuk gaya-gaya dalam diambil dari nilai yang terbesar dari seluruh frame dengan penampang dan arah pemasangan balok yang sama. Hal ini dikarenakan seluruh area interface berfungsi sama untuk menahan gaya beban di atasnya, mengingat pada bab pembebanan, tidak dilakukan pembebanan secara menyeluruh, namun hanya sampling pada area yang dianggap kritis.

Tabel 2. Resume Gaya Dalam CB 1250 x 1000 mm

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StrapType	#	V2	V3	T	M2	M3
Test	Test	Test	Test	Test	Test	kN	kN	kN	kNm	kNm
4338	4.10000	COMB-ULTMP-15	Combination	Min	81.03	130.84	3.90	17.34	0.00	242.03
4439	0.83333	COMB-ULTMP-29	Combination	Max	82.76	143.21	10.49	11.71	0.50	238.03
4371	0.75000	COMB-ULTMP-14	Combination	Min	1.17	132.04	1.00	26.74	0.13	127.28
4354	4.25000	COMB-ULTMP-27	Combination	Max	1.87	138.96	2.89	3.35	1.03	0.98
4446	4.10000	COMB-ULTMP-2	Combination	Min	14.00	87.28	15.48	0.75	0.31	105.13
4439	0.83333	COMB-ULTMP-2	Combination	Max	25.34	143.82	14.73	0.54	0.70	143.82
4350	1.40000	COMB-ULTMP-13	Combination	Min	3.87	80.22	2.72	1.204.80	3.98	89.72
4355	3.40000	COMB-ULTMP-13	Combination	Max	12.87	111.40	2.50	1.075.61	0.48	107.18
4350	3.40000	COMB-ULTMP-13	Combination	Min	10.07	829.85	0.12	823.18	2.23	131.59
4445	4.25000	COMB-ULTMP-2	Combination	Max	18.75	144.51	3.74	23.69	1.11	1.21
4307	4.02000	COMB-ULTMP-23	Combination	Min	27.80	85.03	7.08	225.35	0.34	1.124.08
4351	1.00000	COMB-ULTMP-27	Combination	Max	38.75	844.85	1.15	14.07	0.42	1.068.20

Verifikasi hasil perhitungan dilakukan untuk pengecekan perbandingan antara perhitungan tulangan utama versi manual dengan output sap 2000 dengan sampling pada frame 1859.

Dapat dilihat dari Tabel 2 resume gaya dalam balok CB 1250 x 1000 mm, beban-beban maksimum berada pada frame yang berbeda-beda. Pada kasus ini akan diambil 1 frame desain balok dengan momen lapangan (+) maksimum (Gambar 21).

Untuk memastikan bahwa perhitungan kebutuhan tulangan lentur pada perhitungan manual dan hasil desain SAP2000 mendapatkan nilai As yang sama, diambil sampel frame balok 1859 dengan output gaya. Adapun kebutuhan tulangan longitudinal dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.



Gambar 21. Diagram Moment Balok Pada Frame 1859

Tabel 3. Resume Kebutuhan Tulangan Longitudinal Output SAP2000

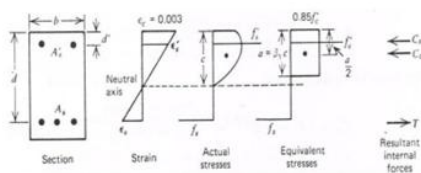
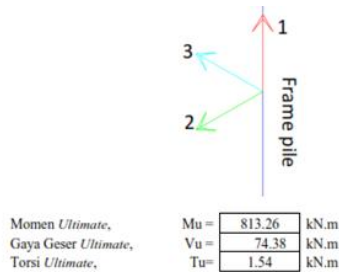
Minimum Ultimate	SAP 2000				Manual			
	Min	Max	As Perlu (Minimum)	As Perlu (Maximum)	As Perlu (Minimum)	As Perlu (Maximum)	As Perlu (Minimum)	As Perlu (Maximum)
Tumpuan kiri-kiri	750.80 kN	1000.00 kN	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Tumpuan kiri-kiri	876.31 kN	1000.00 kN	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Tumpuan kiri-kiri	177.89 kN	1000.00 kN	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Tumpuan kiri-kiri	1000.00 kN	1000.00 kN	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Tumpuan kiri-kiri	799.23 kN	1000.00 kN	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Tumpuan kiri-kiri	762.52 kN	1000.00 kN	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00

Hasil Analisis Struktur Bawah Interface

Dari hasil analisa struktur interface menggunakan aplikasi SAP2000, resume gaya dalam yang dipakai untuk mendesain Pilecap 1500 x 1500 x 1500 mm, gaya-gaya dalam diambil nilai yang terbesar dari seluruh frame, tipe ukuran pilecap hanya 1 tipe, hal ini dikarenakan seluruh area interface berfungsi sama untuk menahan gaya beban di atasnya, mengingat pada bab pembebanan, tidak dilakukan pembebanan secara menyeluruh, namun hanya sampling pada area yang dianggap kritis. Dalam pemodelan elemen pilecap dimodelkan sebagai balok. dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Resume Gaya Dalam PC 1500 x 1500 x 1500 mm

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Test	m	Test	Test	Test	kN	kN	kN	kN/m	kN-m	kN-m
125	1.5	COMB-ULTMT-14	Combination	Min	1.25.33	66.46	-22.26	1.21	209.04	535.24
1	0	COMB-ULTMT-14	Combination	Max	203.87	0.56	46.14	1.35	432.48	91.97
1265	1.5	COMB-ULTMT-14	Combination	Min	1.755.93	86.74	-22.86	0.89	234.57	564.25
77	0	COMB-ULTMT-27	Combination	Max	1.675.08	26.97	64.88	1.51	702.16	383.59
775	1.5	COMB-ULTMT-14	Combination	Min	2.131.83	85.07	35.59	1.22	296.77	535.12
783	0	COMB-ULTMT-27	Combination	Max	1.856.23	23.96	74.38	1.40	813.26	320.11
789	1.5	COMB-ULTMT-14	Combination	Min	402.55	63.40	24.61	1.34	224.38	523.99
21	0	COMB-ULTMT-14	Combination	Max	95.39	23.55	63.27	1.54	942.63	138.46
755	0	COMB-ULTMT-14	Combination	Min	2.135.28	85.07	35.59	1.22	292.48	638.72
783	0	COMB-ULTMT-27	Combination	Max	1.856.23	23.96	74.38	1.40	813.26	320.11
1265	0	COMB-ULTMT-14	Combination	Max	1.886.36	88.74	22.86	0.89	248.85	887.35
77	0	COMB-ULTMT-27	Combination	Max	1.675.08	26.97	64.88	1.51	702.16	383.59



Hasil analisis Pile Head Treatment

Dari hasil analisis yang dilakukan dengan SAP2000, gaya dalam yang digunakan untuk mendesain Pile Head Treatment/ sambungan Pile dan Pilecap diambil dari gaya dalam pada frame pile, dikarenakan dalam pemodelan pembebanan adalah sampling/ tidak semua area di bebani maka gaya dalam yang di pakai diambil gaya yang terbesar dari hasil gaya dalam semua frame pile, dapat dilihat pada Tabel 5.

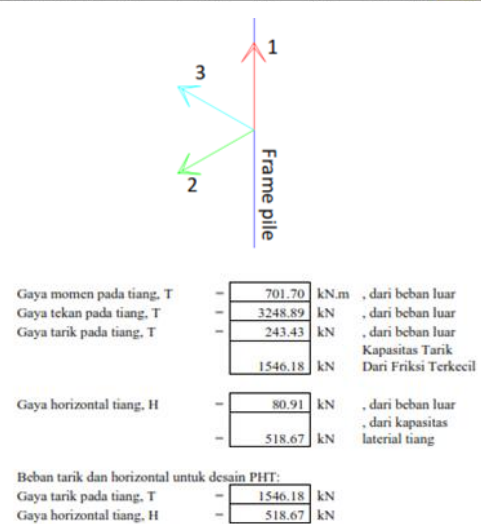
Hasil Analisis Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

Analisis daya dukung fondasi tiang pancang (Prestresses Concrete Spun Pile) dilakukan dengan meninjau tiang berdiameter 800 mm dan mutu beton $f_c' = 52$ MPa. Daya dukung tiang tunggal dihitung dengan korelasi empiris berdasarkan nilai N-SPT. Formula yang digunakan untuk tiang pancang dari metode Meyerhof 1956 (Lestari, 2022).

Hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal untuk data tanah B-01 dengan kondisi reaksi struktur maksimum dari beban servis dan daya dukung fondasi pada setiap data tanah, didapatkan panjang fondasi tiang pancang dia. 800 mm dan faktor keamanan pada kondisi servis seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5. Output gaya dalam pada elemen frame Pile

OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Test	Test	Test	kN	kN	kN	kN/m	kN-m	kN-m
COMB-ULTMT-14	Combination	Min	3.248.89	-39.26	-24.66	1.21	399.77	-111.73
COMB-ULTMT-28	Combination	Max	243.43	0.92	44.37	1.35	372.47	91.13
COMB-ULTMT-14	Combination	Min	1.701.91	75.19	-25.29	0.89	234.57	564.25
COMB-ULTMT-27	Combination	Max	1.735.62	41.06	71.27	1.51	0.02	16.31
COMB-ULTMT-14	Combination	Min	2.165.83	57.89	35.10	1.22	18.55	1.45
COMB-ULTMT-27	Combination	Max	1.893.25	38.08	80.88	1.40	14.77	8.30
COMB-ULTMT-14	Combination	Min	406.63	58.35	26.18	1.34	7.09	1.45
COMB-ULTMT-16	Combination	Max	130.89	39.72	69.66	1.54	2.13	10.38
COMB-ULTMT-27	Combination	Min	2.075.89	33.19	5.16	1.12	681.79	327.75
COMB-ULTMT-27	Combination	Max	1.879.76	24.42	80.91	1.40	701.30	287.17
COMB-ULTMT-14	Combination	Min	1.701.91	75.19	-25.29	0.89	234.57	564.25
COMB-ULTMT-2	Combination	Max	485.10	13.86	43.62	1.33	222.93	526.13



Tabel 6. Analisis Daya Dukung Aksial

Area	Data Tanah	Panjang Tiang (m)	Beban Aksial Struktur (kN)	Qu (kN)	Faktor Keamanan (SF _{min} = 2.5)
Deck-On-Pile Interface A	B-01	25	1650.74	8077.66	4.89
Deck-On-Pile Interface A	B-02	28	1650.74	16883.17	10.23
Deck-On-Pile Interface B	B-03	25	1638.99	11167.76	6.81
Deck-On-Pile Interface B	B-04	28	1638.99	13848.14	8.45

Hasil analisis di atas, panjang total fondasi tiang pancang sebesar 25 hingga 28 m telah memenuhi persyaratan desain.

Analisis Penurunan

Seluruh gaya aksial yang terjadi akan terlebih dahulu dipikul oleh skin friction pada tiang. Oleh karena itu, perhitungan proporsi aksial yang terjadi akan terlebih dahulu dilimpahkan kepada skin friction dan end bearing akan memikul sisa gaya aksial pada titik tersebut. Berikut perhitungan penurunan segera untuk Area Interface A dengan data awal perhitungan penurunan segera dengan menggunakan data tanah B-01, dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Awal Perhitungan Penurunan Segera, B-01

Q all	3231.07	kN
Skin Friction	630.66	kN
End Bearing	2600.40	kN
D	0.80	m
Fe'	52	Mpa
Ep	33892182	kPa
ξ	0.67	
L total	25	m
L emb	20.90	m
Ap end	0.50	m ²
Ap mid	0.26	m ²
P	2.51	m
lwp	0.85	
lws	3.79	

Tip (After Das, 1999)		
N	37.00	(Sand)
Es	35000	kPa
η_s	0.3	poisson
Skin (After Das, 1999)		
N	7.80	(Clay)
Es	35000	kPa
η_s	0.25	poisson

Dengan langkah yang sama dilakukan perhitungan untuk seluruh data tanah, sehingga didapatkan hasil penurunan segera fondasi interface yang terjadi. Seluruh gaya aksial yang terjadi akan terlebih dahulu dipikul oleh skin friction pada tiang. Oleh karena itu, perhitungan proporsi aksial yang terjadi akan terlebih dahulu dilimpahkan kepada skin friction dan end bearing akan memikul sisa gaya aksial pada titik tersebut (Elastik) (Vesic,1999). seperti ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Penurunan Segera Fondasi Interface

Area	Data Tanah	Luas (m)	Luas (m)	Beban (kN)	Q _{sp all} (kN)	Q _{sp all} (kN)	Q _{sp all} (kN)	Elastik Settlement (mm)			
								S _{c1}	S _{c2}	S _{c3}	S _{total}
A	B-01	25	20.90	1650.74	1020.08	2029.38	630.66	4.15	35.88	0.97	41.01
A	B-02	28	22.60	1650.74	728.27	1448.84	922.47	4.34	12.81	1.88	19.03
B	B-03	25	20.70	1638.99	842.18	1675.47	796.81	3.96	19.14	1.74	24.84
B	B-04	28	22.80	1638.99	876.97	1744.67	762.02	4.47	18.12	1.01	23.60

Tabel 9. Hasil Perhitungan Total Penurunan dan Waktu Konsolidasi (90% Derajat Konsolidasi) Fondasi Interface

Area Interface	Data Tanah	Gaya DL Max. (kN)	Penurunan Segera (Elastik) (mm)	Penurunan Konsolidasi Primer (mm)	Penurunan Total (mm)	Waktu Konsolidasi (Tahun)
A	B-01	267.885	41.01	119.26	160	13366
A	B-02	267.885	19.03	139.68	159	6624
B	B-03	267.867	24.84	406.33	431	696
B	B-04	267.867	23.60	507.40	531	5472

Berdasarkan Tabel 9 diperoleh pada area interface A dengan data tanah B-01 penurunan segera elastik sebesar 41,01 mm dengan penurunan konsolidasi primer sebesar 119,26 mm, dimana jumlah kompresi tanah yang disebabkan oleh beban yang diterapkan ditunjukkan oleh total penurunan tiang, yang bervariasi di berbagai lokasi titik borelog. Penurunan konsolidasi primer dan penurunan elastis segera digabungkan untuk menghasilkan nilai penurunan total. Dan dibandingkan dengan waktu konsolidasinya yang cukup lama,

maka dapat disimpulkan penurunan fondasinya relatif aman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah didapat dari perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan adanya penambahan fungsi container yard pada struktur interface, maka ada penyesuaian dari as bangunan yang dikondisikan sama dengan area titik tumpuan penumpukan container. Dimensi elemen strukturnya pun berubah dari desain awalnya baik itu pada fondasi, pilecap, balok dan pelat.
2. Hasil Analisa struktur Interface lebih besar dibandingkan dari desain aslinya dikarenakan adanya penambahan beban tumpukan container dan adanya aktivitas Loading Unloading di mana pada perencanaan sebelumnya tidak ada aktivitas Loading Unloading Container.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2014). *Seismic design of piers and wharves (ASCE/COPRI 61-14)*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Andra, A.P, Made D.A. & Kartini,W. (2024). Analisis Kinerja Struktur Rangka Gedung dengan perkuatan Diafragma pelat lantai pada TSUD Surabaya Timur. *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, 12(2), 158-164. Diakses dari <https://ejurnal.univamedan.ac.id/alulum/article/view/559>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 – Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN. 1.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 – Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan dan Penjelasan*. Jakarta: BSN. 1.
- British Standards Institution. (2016). *BS 6349-1-2: Maritime works – General – Code of practice for assessment of actions*. London: BSI.

- Lestari, A. M. F. (2022). Analisa daya dukung fondasi tiang tunggal dengan data SPT. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2).
- Port of Long Beach. (n.d.). *Wharf Design Criteria (Version 4.0)*. Long Beach, CA: Port of Long Beach.
- Putri, M. A. & Anggraeni, A. P. (2025). Rancang bangun alat monitoring kemiringan pada lantai berbasis Google Sheets. *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, 13(2), 188-194. Diakses dari <https://ejurnal.univamedan.ac.id/alulum/article/view/1004>
- Viala, C., Lamouret, M., & Abadie, A. (2021). *Seafloor classification using a multibeam echo sounder: A new rugosity index coupled with a pixel-based process to map Mediterranean marine habitats*. *Applied Acoustics*, 179.