

ANALISIS METODE PENYAMBUNGAN SPUN PILE PADA POSISI UPPER TANPA JOIN PLATE

Adhi Kurniawan¹, Moh Abduh².

CV. Pandu Adhigraha/Direktur, Kota Surabaya

² Universitas Muhammadiyah Malang

Kontak Person:

Adhi Kurniawan

E-mail: ak47.kaliber12@gmail.com

Abstrak

Perhitungan kekuatan tiang pancang pondasi dilakukan dengan menghitung daya dukung tiang pancang tunggal dan daya dukung kelompok tiang pancang dalam satu abutment. Akan tetapi pada saat pelaksanaan terdapat persoalan dimana tiang pancang yang telah dilaksanakan, daya dukungnya tidak mencapai yang disyaratkan meskipun kedalaman tiang pancang sudah sesuai dengan desain perencanaan. Dalam kasus ini metode yang digunakan adalah dengan menyambung top upper spunpile existing dengan spunpile baru dengan cara menambahkan topping pelat baja di posisi Upper Existing dengan cara di bor dan diberi baut mutu tinggi A325. Fungsi dari penambahan pelat pada spunpile existing adalah untuk penempatan join las (penyambungan las) antara joint plate (spun pile baru) dengan topping pelat baja (spun pile existing). Dari hasil kalendering setelah dilakukan penyambungan didapatkan nilai Q_u yang lebih besar dari $Q_{u \text{ tjin}}$. Dan hasil dari Pile Driving Analyzer (PDA) juga memperlihatkan nilai Q_u yang lebih besar dari $Q_{u \text{ tjin}}$. Kedua tes menunjukkan bahwa daya dukung yang didapat melebihi $Q_{u \text{ tjin}}$ sebesar 61,921 ton. Berdasarkan hasil kalendering dan hasil dari Pile Driving Analyzer (PDA) maka dapat disimpulkan bahwa pekerjaan penyambungan spunpile pada Jembatan Tebel (jembatan 4) untuk pekerjaan Frontage Road Waru – Buduran dapat dikatakan aman.

Kata kunci: Tiang Pancang, Joint Plate, Penyambungan, Spun Pile

1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor penting dalam pembangunan jembatan adalah pondasi. Perhitungan kekuatan tiang pancang pondasi dilakukan dengan menghitung daya dukung tiang pancang tunggal dan daya dukung kelompok tiang pancang dalam satu abutment. Bella (2022) menjelaskan bahwa “daya dukung tiang pancang didapatkan dengan melakukan penyelidikan tanah di lapangan seperti *Standart Penetration Test* (SPT). Selain itu, perhitungan daya dukung tiang pancang dapat menggunakan rumus dinamik tiang dari data Kalendering serta menggunakan *Pile Driving Analysis* (PDA).”

Hardiyatmo [1] berpendapat bahwa “pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Salah satu jenis tiang pancang yang sering digunakan adalah spun pile.” Spun pile termasuk dalam *Precast Prestressed Concrete Pile* adalah tiang pancang dari beton prategang yang menggunakan baja penguat dan kabel kawat sebagai gaya prategangnya yang dibuat melalui proses penggulingan dan pengecoran beton di fabrikasi.

“Pada fondasi tiang pancang beton, terdapat batasan panjang fondasi dikarenakan keterbatasan sistem transportasi dan lain-lain sehingga diperlukan sambungan tiang pancang (Splicing) yang jumlahnya diterapkan hingga memenuhi kedalaman yang dibutuhkan. Selain itu, jenis sambungan juga mempengaruhi kekuatan dari fondasi dalam yang digunakan. Tentu saja setiap sambungan fondasi tiang pancang ini harus memenuhi kebutuhan kekuatan tekan, tarik, dan momen akibat gaya lateral yang timbul berdasarkan gaya luar dan beban struktur atas itu sendiri, agar terhindar dari kegagalan pada sambungan. Penyambungan spun pile menjadi aspek kritis dalam perencanaan konstruksi, mengingat beban struktural yang harus ditanggung oleh tiang pancang tersebut” [2]

Pada saat pelaksanaan terdapat persoalan dimana Tiang pancang yang telah dilaksanakan, daya dukungnya tidak mencapai yang disyaratkan meskipun kedalaman tiang pancang sudah sesuai dengan desain perencanaan. Hal ini terjadi pada pekerjaan Frontage Road Waru – Buduran pada Jembatan 4 dilokasi Tebel di Jl. Maspion Unit III Kelurahan Tebel Kecamatan Gedangan Kabupaten Sidoarjo yang dikerjakan pada tahun 2022, dimana daya dukung rencana 1 tiang pancang sebesar 61,921 ton dengan

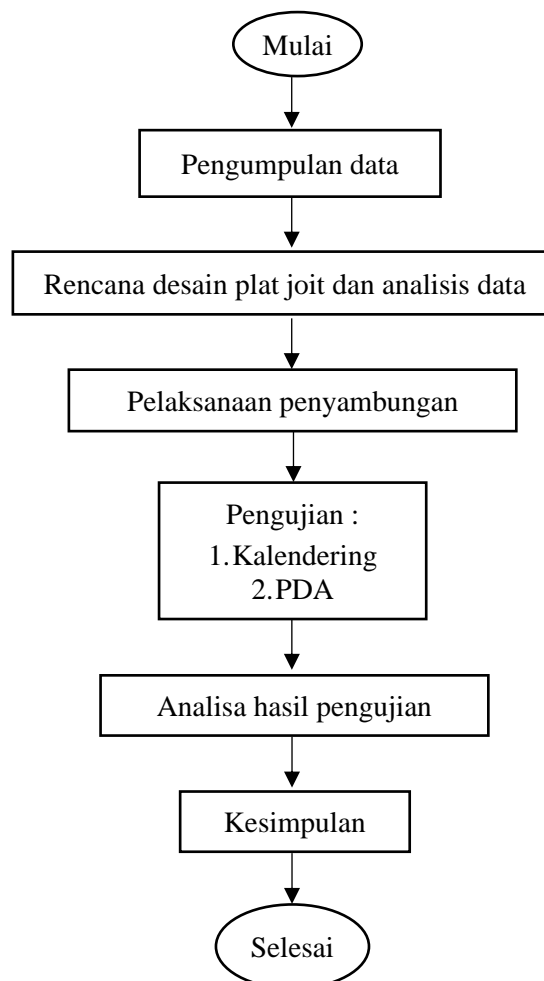
kedalaman 15 meter tidak mencapai tanah keras dan daya dukung rata-rata hasil kalendering kurang memenuhi syarat perencanaan. Setelah dilakukan uji tanah dengan boring, didapat hasil tanah keras berada dikedalaman 35 meter. Sehingga diperlukan penambahan kedalaman tiang pancang dari semula 15 meter menjadi 30 meter. Akan tetapi muncul permasalahan dimana posisi Top Tiang Pancang (Upper) yang sudah tertancap dan onsite dilapangan tidak terdapat Joint Plate yang berfungsi untuk menyambung tiang pancang.

Permasalahan diatas menjadi rumusan masalah Pada Penelitian ini yaitu bagaimana menyambung spun pile existing tanpa joint plat dengan upper spun pile baru. Untuk itu diperlukan analisis dan metode guna menyabung tiang pancang agar didapat hasil sesuai dengan yang diharapkan.

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah menganalisis terhadap metode penyambungan spun pile dengan menggunakan rumus empiris untuk menentukan desain plat joint, kekuatan dan jumlah baut serta ketebalan pelat. Pentingnya penelitian ini terletak pada upaya untuk meningkatkan pemahaman kita terhadap performa penyambungan spun pile, termasuk kekuatan, kestabilan, dan aspek teknis lainnya yang dapat mempengaruhi integritas struktural. Dengan pemahaman yang lebih baik terhadap metode penyambungan, dapat diharapkan bahwa desain struktur akan lebih dapat diandalkan dan tahan lama. Tujuan dari karya tulis ilmiah ini adalah untuk membantu mengatasi permasalahan yang sama dikemudian hari dan menjadi bahan referensi di masa mendatang.

2. METODE PENELITIAN

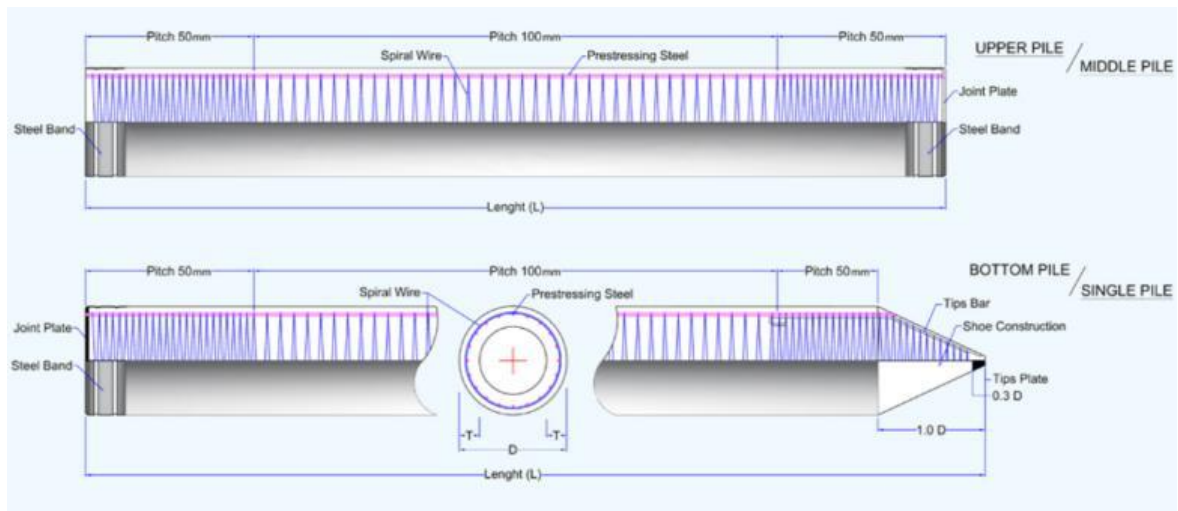
2.1 Flowchart Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Data Pabrikasi Spun Pile

Data spun pile ini diambil dari pabrik dari PT. Tjagrindo Mas dan sesuai dengan dengan material onsite dilapangan. Untuk detail spesifikasi pabrikasi dapat dilihat dalam gambar 2 dibawah ini.



PRODUCT SPECIFICATION

Size D (mm)	Class	Wall Thickness (T) (mm)	Length Spun Pile (L) (mm)	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ²)	Calculated Bending Moment		Allowable Axial Load (ton)	Unit Weight (Kg/m)
						Crack (t.m)	Ultimate (t.m)		
300	A	60	6 - 13	453	35,243	25.0	3.75	72.6	118
	B					3.50	6.30	67.5	
	C					4.00	8.00	65.4	
350	A	65	6 - 15	582	62,131	3.50	5.25	93.10	151
	B					5.00	6.30	86.00	
	C					6.00	9.00	85.00	
400	A	75	6 - 15	766	106,434	5.50	8.25	121.10	199
	B					7.50	137.50	114.00	
	C					9.00	18.00	111.00	
450	A	80	6 - 15	930	166,485	7.50	11.30	149.00	242
	B					11.00	19.80	139.00	
	C					12.50	25.00	134.00	
500	A	90	6 - 15	1160	255,194	10.50	15.70	185.00	301
	B					15.00	27.00	174.00	
	C					17.00	34.00	169.00	
600	A	100	6 - 18	1570	516,250	17.00	25.00	252.00	408
	B					25.00	45.00	238.00	
	C					29.00	58.00	229.00	
800	A	120	6 - 18	2563	1,527,095	40.00	63.60	415.00	666
	B					55.00	108.00	390.00	
	C					65.00	129.00	367.00	
1000	A	140	6 - 18	3782	3,589,571	75.00	112.50	614.00	893
	B					105.00	159.70	575.00	
	C					120.00	229.90	552.90	

* Concrete Compressive Strength Cube According to Request
 ** Dimension Custom for According to Request

Gambar 2 Product Specification PT. Tjagrindo Mas

Data Spuns pile Existing :

- Diameter luar : 400 mm
- Diameter dalam : 250 mm
- Tebal dinding : 75 mm
- Cross Section : 766 cm²
- Unit Weight : 199 kg/m
- Momen Crack : 9 Ton.m
- Momen Break : 18 Ton.m
- Mutu Beton : 52 Mpa
- Class : C

2.3 Baut

Metode yang saya gunakan adalah dengan menyambung top upper spunpile existing dengan spunpile baru dengan cara menambahkan topping pelat baja di posisi Upper Existing dengan cara di bor dan diberi baut mutu tinggi. Fungsi dari penambahan pelat pada spunpile existing adalah untuk penempatan join las (penyambungan las) antara joint plate (spun pile baru) dengan topping pelat baja (spun pile existing).

Rencana baut yang digunakan adalah baut mutu tinggi A-325. Baut A-325 adalah jenis baut struktural berkualitas tinggi yang dirancang khusus untuk penggunaan dalam konstruksi baja struktural. Baut ini memiliki spesifikasi dan karakteristik tertentu yang membuatnya cocok untuk menghubungkan elemen struktural baja yang mengalami beban berat. Baut A-325 diatur oleh standar ASTM International. ASTM A325 adalah spesifikasi standar untuk baut struktural berkekuatan tinggi dari baja karbon dan paduan baja. Baut A-325 banyak digunakan dalam konstruksi struktural berat seperti bangunan bertingkat tinggi, jembatan, dan struktur infrastruktur lainnya yang memerlukan kekuatan dan ketahanan yang tinggi. Menurut Mohammad Matar [3] Baut ASTM A325 umumnya digunakan di Amerika Serikat sebagai pengencang struktural. Selama Jika terjadi kebakaran, kinerja baut ini akan terkena dampak buruk karena hilangnya kekuatankarena suhu yang lebih tinggi mengakibatkan peningkatan kerentanan terhadap deformasi mulur.

2.4 Metode Analisis Pelat Sambungan

Dalam analisa kekuatan sambungan, maka perlu formula perhitungan terkait dengan sambungan baut dan pengelasan sambungan serta kontrol kapasitas joint pelat yaitu menggunakan SNI 03-1729-2020. Berdasarkan SNI 03-1729-2020 maka dapat diketahui rumus persamaan sebagai berikut :

- Kekuatan Sambungan Baut

$$Vu/baut = V_u/R_d \quad (1)$$

- Kekuatan Sambungan Las

$$R_{nw} = \phi \times t_e \times 0,6 \times f_u \quad (2)$$

$$T_n = L_w \times \phi \cdot R_{nw} \quad (3)$$

- Kontrol Kapasitas Pelat Joint

$$P_n = 0,9 \times A_s \times F_y \quad (4)$$

Keterangan:

$V_u/baut$: Kekuatan sambungan baut tiap baut

V_u : Moment crack (ton.m)

R_d : Kuat rencana baut (kg)

R_{nw} : Kuat rencana las (N/mm)

t_e : Tebal las rencana (mm)

f_u : Mutu las (mpa)

T_n : Kuat sambungan las (ton)

L_w : Panjang las (mm)

P_n : Kapasitas join plat (kg/pelat)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kuat Rencana Baut A-325

$$\begin{aligned} \text{Geser } (R_{d1}) &= \phi \times 0,5 \times f_u \times A_b \times m \\ &= 0,75 \times 0,5 \times f_u \times A_b \times m \\ &= 1563,72 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tumpuan } (R_{d2}) &= \phi \times 2,4 \times d_b \times t_p(\text{terkecil}) \times f_u \text{ (profil)} \\ &= 0,75 \times 2,4 \times d_b \times t_p(\text{terkecil}) \times f_u \text{ (profil)} \\ &= 4262,40 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vu/baut &= V_u/R_d \\ &= 9000 / 1563,72 \\ &= 5,75 \text{ pcs dibulatkan 6 pcs} \end{aligned}$$

3.2 Kuat Sambungan Las

$$T_n = L_w \times \phi \cdot R_{nw} = 53,46 \text{ Ton}$$

$$T_n > M_{\text{crack}} = \text{memenuhi}$$

3.3 Kontrol Kapasitas Pelat Joint

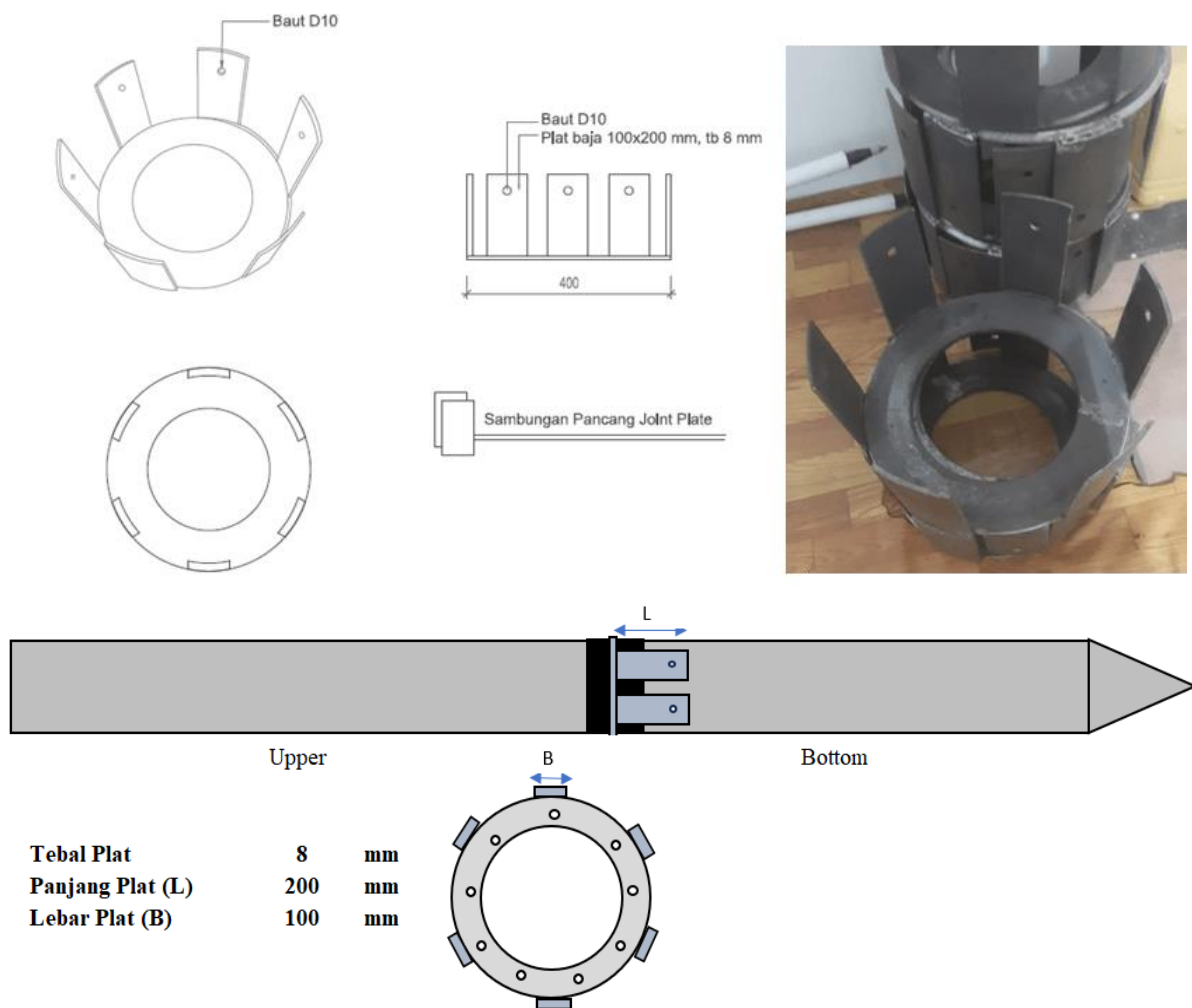
$$P_n = 0,9 \times A_s \times F_y = 15897,6 \text{ kg/pelat}$$

$$\text{Jumlah } P_n = P_n \times \text{Jumlah pelat} = 15897,6 \times 6 = 95385,6 \text{ kg}$$

$$P_n > V_u = \text{memenuhi}$$

3.4 Desain Rencana Pelat Sambungan

Dari hasil perhitungan, pelat yang digunakan adalah pelat baja dengan tebal 8 mm berbentuk lingkaran dengan diameter 400 mm sesuai dengan spun pile dan memiliki 6 kaki pelat baja 100.200 mm tebal 8 mm sebagai tumpuan dan penjepit serta sebagai pengunci, terdapat lubang baut D10 untuk menempatkan baut antara spun pile existing dengan rencana pelat sambungan. Pelat sambungan dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 Detail Sambungan Pancang *Joint Plate*

3.4 Pelaksanaan Penyambungan Spun Pile

Setelah perhitungan dan design selesai serta aman secara perhitungan. Maka dilakukan pelaksanaan penyambungan dilapangan sesuai dengan data-data perhitungan. Adapun langkah-langkah pelaksanaan nantinya adalah sebagai berikut :

a. Pengeboran

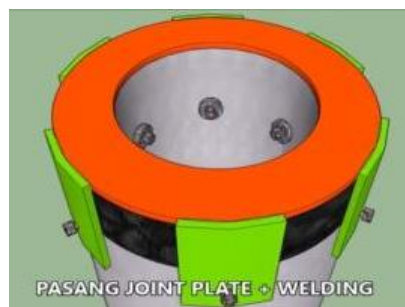
Pengeboran dilakukan dibawah steel band agar tidak merusak bahan dari steel band. Pengeboran disesuaikan jarak dan diameter lubang agar sama dengan diameter baut dan tidak longgar, pengeboran dilakukan sebanyak 6 titik sesuai hasil perhitungan dan diameter sesuai dengan perhitungan. Pengeboran sesuai dengan gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Pengeboran pada spun pile existing

b. Pemasangan Pelat Joint Baru

Setelah pengeboran selesai, langkah selanjutnya memasang joint plate sesuai dengan design dan perhitungan. Lubang yang telah dibuat dan diberi baut A-325 dengan jumlah 6 titik dan dikencangkan. Kemudian joint plate yang telah dipasang diberi perkuatan welding pada kaki plate band dengan steel band secara merata. Pemasangan joint plate baru seperti gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5 Pemasangan joint plat pada spun pile existing

c. Pengelasan

Setelah pelaksanaan penyambungan joint plate pada spun pile existing, selanjutnya dilakukan penyambungan dengan upper spun pile baru. Gambar penyambungan spun pile baru dengan spune pile existing dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6 Pemasangan joint plat pada spun pile existing

3.5 Perbandingan Hasil Nilai Daya Dukung

Setelah perhitungan dan analisa selesai dan penyambungan dilaksanakan dilapangan. Dari pantauan dilapangan didapat hasil kalendering sebelum dilakukan penyambungan spunpile dan sesudah penyambungan spun pile. Sebelum dilaksanakan penyambungan, panjang spun pile adalah 15 meter. Dan setelah penyambungan panjang keseluruhan spun pile adalah 30 meter. Besarnya daya dukung tiang pada saat pemancangan diperoleh dari hasil kalendering berupa final set (penetrasi, mm/10x), mungkin kecil nilai final set, mungkin besar nilai daya dukung dinamiknya. Rumus dinamik yang banyak digunakan adalah rumus: Hilley, ENR, Kobe, Wika dan lain-lain. Menurut Lukman (2017) Nilai final set (s) yaitu besarnya penurunan tiang pancang terhadap pukulan alat pancang drop hammer sebanyak 10 kali pukulan. Berikut adalah tabel perbandingan sebelum dan sesudah dilaksanakan penyambungan dilapangan :

Tabel 1 Sebelum penyambungan spun pile

Axis	Wr	Wp	s	k	n	eh	Formula Daya Dukung (Qu)				Daya Dukung			Kesimpulan	
							Qu Hilley	Qu Cobelco	Qu Danish (ENR)	Qu WIKA	Qu Max	Qu Min	Qu Rata-rata		
							(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)		
PC 2 No. 13 Utara	4,50	4,52	2,67	26,00	0,45	0,85	8,22	6,83	34,27	7,26	34,27	6,83	14,146	Qu < Qall Rencaa	Tidak OK
PC 2 No. 14 Utara	4,50	4,52	2,63	26,20	0,45	0,85	8,18	6,79	34,74	7,22	34,74	6,79	14,234	Qu < Qall Rencaa	Tidak OK
PC 2 No. 15 Utara	4,50	4,52	2,88	28,60	0,45	0,85	7,49	7,49	31,97	6,61	31,97	6,61	13,390	Qu < Qall Rencaa	Tidak OK
PC 1 No. 1 Selatan	4,50	4,52	2,55	25,45	0,45	0,85	8,42	8,42	35,73	7,44	35,73	7,44	15,002	Qu < Qall Rencaa	Tidak OK
PC 1 No. 5 Selatan	4,50	4,52	2,60	26,10	0,45	0,85	8,21	6,83	35,11	7,25	35,11	6,83	14,350	Qu < Qall Rencaa	Tidak OK
PC 2 No. 13 Selatan	4,50	4,52	3,16	31,50	0,45	0,85	6,80	5,65	29,35	6,01	29,35	5,65	11,952	Qu < Qall Rencaa	Tidak OK

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 2 Sesudah penyambungan spun pile

Axis	Wr	Wp	s	k	n	eh	Formula Daya Dukung (Qu)				Daya Dukung			Kesimpulan	
							Qu Hilley	Qu Cobelco	Qu Danish (ENR)	Qu WIKA	Qu Max	Qu Min	Qu Rata-rata		
							(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)		
PC 2 No. 13 Utara	4,50	9,04	0,20	2,17	0,45	0,85	77,47	55,06	171,87	61,98	171,87	55,06	91,592	Qu > Qall Rencaa	OK
PC 2 No. 14 Utara	4,50	9,04	0,23	2,34	0,45	0,85	71,44	50,77	161,21	57,15	161,21	50,77	85,145	Qu > Qall Rencaa	OK
PC 2 No. 15 Utara	4,50	9,04	0,32	3,03	0,45	0,85	54,80	38,95	135,94	43,85	135,94	38,95	68,385	Qu > Qall Rencaa	OK
PC 1 No. 1 Selatan	4,50	9,04	0,22	2,30	0,45	0,85	72,85	51,78	164,62	58,29	164,62	51,78	86,885	Qu > Qall Rencaa	OK
PC 1 No. 5 Selatan	4,50	9,04	0,34	3,18	0,45	0,85	52,09	37,02	130,38	41,68	130,38	37,02	65,294	Qu > Qall Rencaa	OK
PC 2 No. 13 Selatan	4,50	9,04	0,10	1,28	0,45	0,85	133,04	94,56	220,42	106,44	220,42	94,56	138,613	Qu > Qall Rencaa	OK

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah pemancangan selesai, maka dilakukan tes Pile Driving Analyzer (PDA), hasilnya dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini

PT. Geotes Regio Inti
Jl. Darmas Indah Selatan V/ KK-67 Surabaya
+6281-757-7724
www.geotes-r.com

BERTAKWA LAPANGAN
PDA (Pile Driving Analyzer) Test

Nama Proyek: P. JAHAN DAN JEMBATAN FRONTAGE ROAD (L57)
Client: PT. JAYA ETEKA TEKNIK
Lokasi: WARU BUDURAN - JAWA TIMUR

No.	Pile ID	Tanggal Instalasi Pondasi Tiang	Dinamasi (mm)	L (m)	L (m)	L (m)	Jenis Hammer / Blowing	P. Design (m)	max. (m)
14.			8400	30.00	29.00	28.50	DD	6'	153

Data Pendukung
 Denah Rencana Pondasi Tiang
 Data Instalasi Pondasi Tiang
 Data Penyelidikan Tanah

WARU 10.12.22

PT. Geotes Regio Inti
 Kontraktor Utama: NIZHAR
 Kontraktor Pondasi: [Signature]
 Konsultan: Denny H.F.
 Owner: [Signature]

Gambar 7 Hasil Pile Driving Analyzer (PDA)

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa Q_u rata-rata tidak ada yang memenuhi Q_u Ijin. Nilai Q_u terbesar adalah pada PC 1 no. 1 sisi selatan sebesar 15,002 ton dan paling rendah adalah 11,952 ton pada PC 2 no. 13 sisi selatan. Sedangkan pada tabel 2 dapat diketahui bahwa kenaikan signifikan terjadi setelah penyambungan spunpile dimana Q_u rata-rata melebihi Q_u Ijin yang berarti bahwa daya nilai dukung memenuhi. Nilai Q_u terbesar adalah pada PC 2 no. 13 sisi selatan sebesar 138,613 ton dan paling rendah PC 1 no. 5 sisi selatan dengan nilai 65,294 ton. Dan pada gambar 3 didapat pula hasil dari Pile Driving Analyzer (PDA) dengan nilai R_{mx} 133 ton. Dengan demikian baik nilai kalendering dan Pile Driving Analyzer (PDA) sudah memenuhi Q_u Ijin perencanaan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pelaksanaan dilapangan didapat bahwa ada inovasi yang bisa dilakukan untuk mengatasi permasalahan apabila tiang pancang / spun pile tanpa joint plate tetap bisa dilakukan penyambungan dengan perhitungan yang matang dan pengawasan serta pelaksanaan yang profesional. Dari hasil kalendering setelah dilakukan penyambungan didapatkan nilai Q_u yang lebih besar dari Q_u Ijin. Dan hasil dari Pile Driving Analyzer (PDA) juga memperlihatkan nilai Q_u yang lebih besar dari Q_u Ijin. Kedua tes menunjukkan bahwa daya dukung yang didapat melebihi Q_u Ijin sebesar 61,921 ton. Berdasarkan hasil kalendering dan hasil dari Pile Driving Analyzer (PDA) maka dapat disimpulkan bahwa pekerjaan penyambungan spunpile pada Jembatan Tebel (jembatan 4) untuk pekerjaan Frontage Road Waru – Buduran dapat dikatakan aman.

REFERENSI

- [1] Anggoro Yudho Prasongko, Isdaryanto Iskandar. *CAPACITY ANALYSIS OF SPUN PILE WELDING JOINTS \varnothing 300 mm*. International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology. 2022; 7(5) ISSN No. 2455-2143 : 12-16.
- [2] Bella Aulia Vira Farnetta. Analisis Daya Dukung Spun Pile Pada Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya. *e-journal UNESA*. 2022; 2.
- [3] Eva Arifi, Desy Setyowulan. Perencanaan Struktur Baja (Berdasarkan SNI 1729-2020). Malang: UB Press. 2020.
- [4] Hardiyatmo, H. Christady. Analisis dan Perancangan Fondasi II Edisi 3. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. 2015.
- [5] Kevin Trianto Chiarli, Alfred Jonathan Susilo. Analisis Kekuatan Sambungan Tiang Pancang Beton terhadap Gaya Tarik, Lateral, dan Momen pada Tanah Kohesif. *JMTS Jurnal Mitra Teknik Sipil*. 2021; 4(3) : 607-614.
- [6] Lukman. Rasio Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Kalendering. *Jurnal Teknik Majalah Ilmiah Fakultas Teknik Unpak*. Bogor. 2017; 18(1).
- [7] Mohammad Matar. PRIMARY CREEP IN ASTM A325 BOLTS UNDER SIMULATED FIRE LOADING. PhD Thesis. Milwaukee : The University of Wisconsin; 2014
- [8] Standart Nasional Indonesia. SNI ASTM A325-2012. *Spesifikasi Baut Baja Hasil Perlakuan Panas dengan Kuat Tarik minimum 830 Mpa (ASTM A 325 M – 04, IDT)*. Jakarta. Badan Standardisasi Nasional; 2012.
- [9] Standart Nasional Indonesia. SNI 1729-2020. *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (ANSI/AISC 360-16, IDT)*. Jakarta. Badan Standardisasi Nasional; 2020.
- [10] Wiryanto Dewobroto, Lanny Hidayat, Jack Widjajakusuma, Kelvin. *Studi Karakteristik Baut Mutu Tinggi (A325 dan Grade 8.8) Terhadap Tarik dan Pengaruhnya pada Perencanaan Sambungan*. Wiryanto Dewobroto – Seminar HAKI. Banten. 2016 : 2-8.