

Analisis Optimalisasi Desain pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Bayung Lencir - Tempino Seksi 1

Muhammad Agus Hanafi Sipahutar¹, Badrus Zaman^{1,2}, Bobby Rio Indriyantho^{1,3*}

¹ Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

² Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

³ Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Jalan Tol Baleno (Bayung Lencir – Tempino) merupakan salah satu ruas Tol Trans Sumatera dengan panjang 39 Km yang menjadi kelanjutan dari Tol Betung Pelambang. Adhi-Waskita-Jaya Konstruksi, KSO merupakan kontraktor pelaksana yang dipilih untuk melaksanakan konstruksi Jalan Tol Baleno Seksi 1, dengan total panjang jalan tol 10.525 km. Masa kontrak pelaksanaan Tol Baleno seksi 1 dipercepat yang semula 595 hari menjadi 400 hari. Lokasi main road STA. 116+475 – 116+625 merupakan lokasi interchange dengan jenis pekerjaan yang banyak dan saling berkaitan serta memiliki kondisi tanah lunak. Desain yang paling optimal terhadap biaya dan waktu diperlukan pada lokasi tersebut, sehingga tidak terjadi keterlambatan dalam masa kontrak yang lebih singkat. Penelitian ini membahas analisis desain pada lokasi main road STA. 116+475 – 116+625 yang terdiri dari analisis kondisi tanah, analisis permodelan dan pembebanan, dan analisis terhadap biaya, waktu, dan metode pelaksanaan untuk mendapatkan desain yang paling optimal. Berdasarkan analisis yang dilakukan diperoleh hasil bahwa desain yang paling optimal untuk diterapkan pada lokasi main road STA. 116+475 – 116+625 adalah menggunakan pile slab. Desain pile slab memiliki biaya pelaksanaan yang lebih rendah dibandingkan dengan alternatif desain yang lain dan bisa lebih cepat dari segi metode dan waktu.

Kata kunci: pile slab, biaya, waktu, metode pelaksanaan, konstruksi jalan tol

Abstract

Analysis of Design Optimization in Development Projects of Bayung Lencir – Tempino Section 1 Toll Road. The Baleno (Bayung Lencir – Tempino) Toll Road is a section of the Trans Sumatra Toll Road with a length of 39 km which is a continuation of the Betung Pelambang Toll Road. Adhi-Waskita-Jaya Construction KSO is the main contractor chosen to carry out the construction of the Baleno Toll Road Section 1, with a total toll road length of 10,525 km. The contract period for the implementation of the Baleno Toll Section 1 has been accelerated from 595 days to 400 days. Main road location of STA. 116+475 – 116+625 is an interchange location with many other interrelated works and it has soft soil conditions. The most optimal design for costs and time is required at the aforementioned location, so that no delays occur within a shorter contract period. This research discusses design analysis at the main road location of STA. 116+475 – 116+625 consisting of soil condition analysis, modeling and loading analysis, and analyses of costs, time and construction methods, in order to obtain the most optimal. Based on the analysis carried out, the results showed that the optimal design to be applied at the main road location of STA. 116+475 – 116+625 is using pile slab. The pile slab design has lower implementation costs compared to other design alternatives, and it can be faster in terms of method and time.

^{*}) Penulis Korespondensi.

E-mail: bobbyrio@live.undip.ac.id

Keywords: pile slab, cost, time, implementation method, toll road construction

1. Pendahuluan

Tol Trans Sumatera merupakan jaringan jalan tol yang menghubungkan kota besar di Pulau Sumatera, Indonesia. Jalan Tol Baleno (Bayung Lencir – Tempino) merupakan salah satu ruas Tol Trans Sumatera dengan panjang 39 km yang menjadi kelanjutan dari Tol Betung yang sudah ada yang menghubungkan Palembang, ibu kota Provinsi Sumatera Selatan, dengan Jambi, ibu kota Provinsi Jambi. Tol ini memiliki peran penting dalam meningkatkan konektivitas dan mobilitas di wilayah tersebut. Konstruksi Tol Baleno dibagi menjadi 3 seksi dengan pembagian panjang jalan tol seksi 1 sepanjang 10.525 km, seksi 2 sepanjang 11.004 km dan seksi 3 sepanjang 17.512 km. Adhi-Waskita-Jaya Konstruksi KSO merupakan kontraktor pelaksana yang dipilih untuk melaksanakan konstruksi Jalan Tol Baleno Seksi 1, dengan total panjang jalan tol 10.525 km yang terdiri dari *main road* 7,625 km yang dimulai dari STA. 116+000 – 123+625 dan akses Tol 2,9 km (Gambar 1).

Durasi pekerjaan Proyek Jalan Tol Baleno Seksi 1 adalah 595 hari namun terdapat percepatan pada pertengahan pelaksanaan dari pihak *owner* dalam hal ini adalah Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Bebas Hambatan Provinsi Sumatera Selatan dipercepat menjadi 400 hari. Proyek Jalan Tol Baleno Seksi 1 memiliki lingkup pekerjaan yaitu pekerjaan tanah, struktur, drainase, gerbang tol, dan *landscape*. Lingkup pekerjaan yang luas ini menjadi tantangan dalam pengerjaan Proyek Jalan Tol Baleno Seksi 1 dengan kondisi masa kontrak yang singkat.

Akibat percepatan masa kontrak dan lingkup pekerjaan yang luas, maka diperlukan penyesuaian secara

teknis dan non-teknis untuk bisa menyelesaikan pekerjaan dengan tepat mutu, waktu, dan biaya (Bakry dkk., 2014). Oleh karena itu, perlu adanya analisis optimalisasi desain agar waktu pelaksanaan proyek tidak melebihi masa kontrak dengan penambahan biaya yang tidak signifikan. Lokasi yang ditinjau pada penelitian ini adalah area *main road* STA. 116+475 – 116+625 karena pada lokasi ini terdapat *interchange* dengan jenis pekerjaan yang banyak dan saling berkaitan dengan kondisi tanah lunak.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan desain yang paling optimal terhadap biaya dan waktu pada lokasi *main road* STA. 116+475 – 116+625 yang bertemu dengan *interchange* (Gambar 2) sehingga dengan masa kontrak yang singkat tidak terjadi keterlambatan.

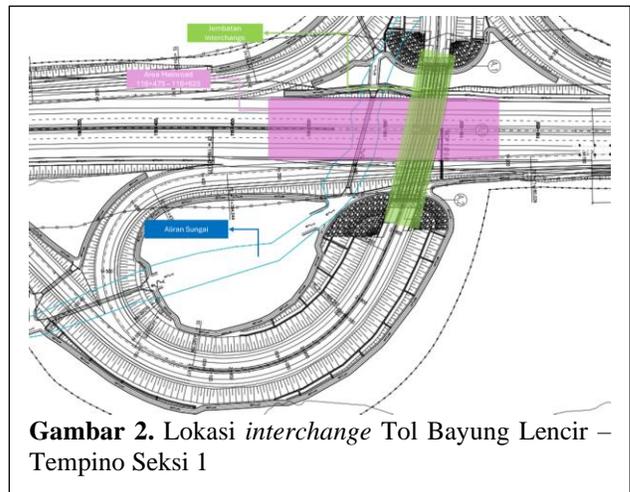
2. Metode Penelitian

Desain awal yang diterapkan untuk lokasi *main road* STA. 116+475 – 116+625 adalah *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dengan *preloading*. PVD *preloading* merupakan penanganan tanah lunak dengan biaya yang relatif murah dan pelaksanaan yang mudah (Zaika dkk., 2023). Namun demikian, desain PVD dengan *preloading* membutuhkan waktu yang cukup lama. Dengan adanya masa kontrak pekerjaan yang dipersingkat dan akan mempengaruhi *sequence* pekerjaan pada lokasi *interchange* yang berpotensi menyebabkan keterlambatan, maka desain tersebut tidak dapat diterapkan. Desain percepatan perlu dioptimalkan dengan mensubstitusi segmen pekerjaan yang memiliki durasi lama dengan alternatif desain paling optimal dari segi waktu dan biaya sehingga pekerjaan dapat dipercepat (Bakry dkk., 2014).

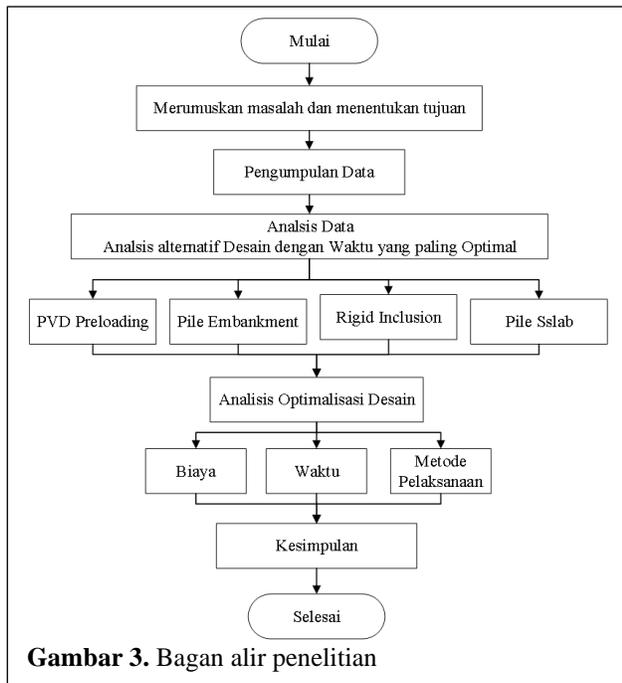
Analisis desain pada lokasi *main road* STA. 116+475 – 116+625 dilakukan terhadap analisis kondisi tanah, analisis permodelan dan pembebanan, dan analisis terhadap biaya, waktu, dan metode pelaksanaan.



Gambar 1. Lokasi trase Proyek Tol Bayung Lencir – Tempino



Gambar 2. Lokasi *interchange* Tol Bayung Lencir – Tempino Seksi 1



Gambar 3. Bagan alir penelitian

Berdasarkan analisis tersebut dapat diketahui desain yang paling optimal. Bagan alir penulisan dapat dilihat pada Gambar 3.

Analisis dimulai dengan merumuskan masalah dan menentukan tujuan, kemudian pengumpulan data-data yang dibutuhkan dan dilakukan analisis sehingga didapatkan hasil yang paling optimal (Gambar 3).

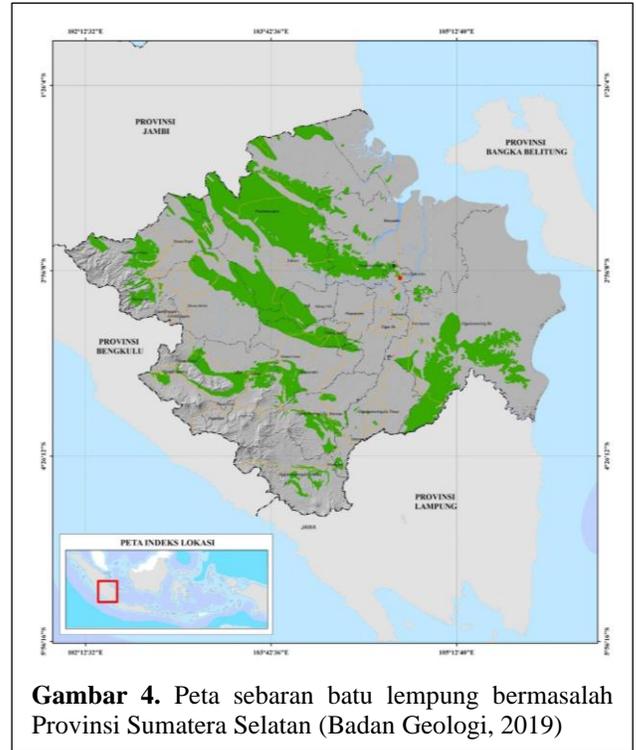
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Desain Awal

Berdasarkan peta sebaran batu lempung bermasalah Provinsi Sumatera Selatan, sebagian lokasi pekerjaan masuk ke dalam sebaran batu lempung bermasalah yang ditandai dengan warna hijau (Gambar 4). Sementara itu, berdasarkan peta VS30 Provinsi Sumatera Selatan, area pekerjaan masuk ke dalam jenis area tanah lunak (Gambar 5).

Tabel 1. Pembebanan pada badan timbunan H = 4 m

Data Teknis	Nilai	Satuan
Berat jenis tanah	15	kN/m ²
Berat jenis beton	24,5	kN/m ²
Lebar jalan	20	m
Lebar jalur	17,5	m
Lebar efektif	1	m
Berat tanah	1200	kN
Beban perkerasan	300	kN
Beban lalu lintas	300	kN
Berat total	1800	kN
Bearing pressure	90	kN/m ²



Gambar 4. Peta sebaran batu lempung bermasalah Provinsi Sumatera Selatan (Badan Geologi, 2019)

Verifikasi lokasi tersebut dilakukan melalui hasil pengujian geoteknik pada area pekerjaan Proyek Jalan Tol Baleno Seksi 1 seperti terlihat pada (Gambar 6) dan (Gambar 7). Interpretasi data dapat dilakukan untuk menampilkan grafik hubungan tahanan ujung, tahanan selimut, dan tekanan air pori yang terukur di lapangan. Parameter yang diturunkan adalah rasio friksi, rasio air pori, dan jenis perilaku tanah (Robertson & Campanella, 1983). Pengujian geoteknik menyatakan bahwa 10 lokasi tanah lunak berada pada area *main road* dan 19 lokasi tanah lunak berada pada jalan akses. Lokasi *main road* STA. 116+475 – 116+625 juga termasuk ke dalam lokasi dengan tanah lunak.

Adanya tanah lunak pada lokasi *main road* STA. 116+475 – 116+625 menyebabkan perlunya desain penanganan tanah. Desain awal yang diusulkan adalah PVD *preloading*. Berdasarkan data *bore log*, *Groundwater Level* (GWL) diketahui berada pada kedalaman 9 m. Parameter desain PVD *preloading*

Tabel 2. Pembebanan pada kaki timbunan H = 4 m

Data Teknis	Nilai	Satuan
Berat jenis tanah	15	kN/m ²
Berat jenis beton	24,5	kN/m ²
Lebar timbunan	8	m
Lebar efektif	1	m
Berat tanah	480	kN
Bearing pressure	30	kN/m ²

menggunakan beban rencana yaitu 30 kPa, tinggi timbunan $H = 4$ m dan rencana panjang PVD 24 m. Hasil analisis metode elemen hingga menggunakan Plaxis seperti pada (Gambar 8) menghasilkan nilai penurunan sebesar 1,25 meter dalam waktu 3 bulan dengan Faktor Keamanan (FK) Statik = 2,34 dan FK Gempa = 1,73.

3.2 Alternatif Desain

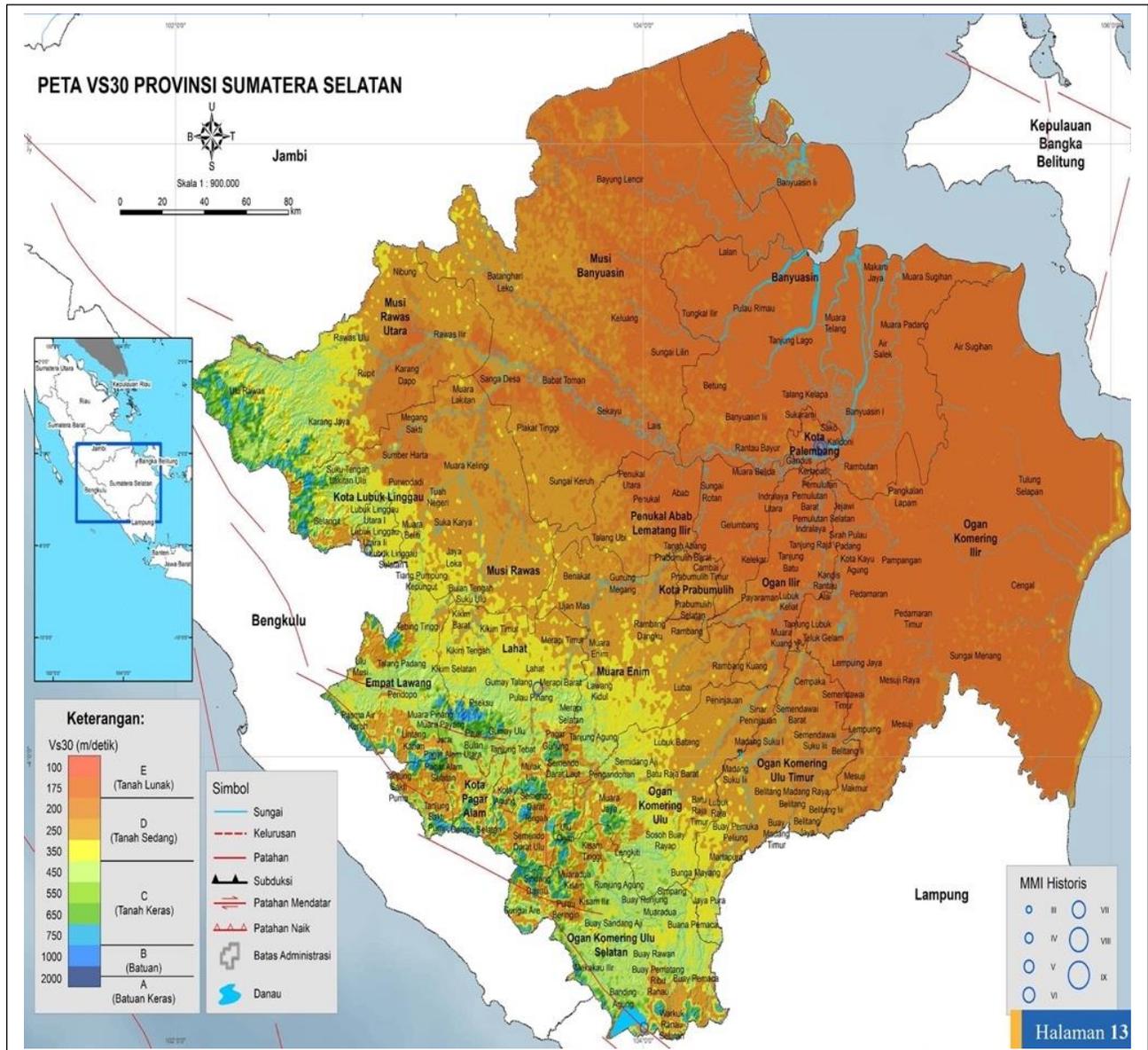
3.2.1 Pile Embankment

Pile embankment merupakan salah satu metode penanganan tanah lunak dengan menggunakan tiang pancang atau tiang bor (Bian dkk., 2024). Berdasarkan data N-SPT dan bore log diperoleh nilai daya dukung tiang ultimit $Q_u = 595,89$ kN, daya dukung tiang izin $Q_{all} = 238,36$ kN, dan FK = 2,5. Analisis kebutuhan panjang

tiang untuk pile embankment dilakukan dengan pembebanan seperti pada Tabel 1.

Parameter berat jenis tanah, berat jenis beton, lebar dan tinggi timbunan serta nilai pembebanan lalu lintas baik itu beban perkerasan maupun beban lalu lintas yang digunakan saat proses analisis pile embankment terlihat pada Tabel 1 untuk lokasi badan timbunan dan Tabel 2 untuk lokasi kaki timbunan.

Berdasarkan hasil analisis pile embankment dengan software Plaxis diperoleh nilai FK Statik = 3,45 dan FK Gempa = 1,86 (Gambar 9). Setelah itu, analisis bending moment dilakukan untuk mengetahui kapasitas momen yang terjadi pada mini pile (Gambar 10).



Gambar 5. Peta Vs30 pada trase pekerjaan (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2022)



Gambar 6. Pengujian bore log

Berdasarkan analisis yang dilakukan maka diperoleh hasil yaitu:

1. Penanganan *pile embankment* dapat menggunakan *mini pile* 30×30 cm sepanjang 27 m pada tinggi timbunan $H = 4$ m dengan jarak antar tiang 1 meter di badan timbunan dan jarak antar tiang 2 meter di kaki timbunan.
2. Menggunakan *mini pile* 30×30 dengan mutu beton kelas C (30 MPa) dengan batas momen retak sebesar 40 kN.m atau senilai 4,00 ton.m (Tabel 3) dan gaya aksial izin sebesar 654 kN.m atau senilai 65,40 ton.m, sehingga besarnya angka keamanan dan gaya dalam tiang masih memenuhi kriteria desain.

3.2.2 Rigid Inclusion

Rigid inclusion salah satu metode penanganan tanah lunak yang diperhitungkan, dengan prinsip dasar melakukan transfer beban yang disalurkan ke *load transfer platform* (Samy dkk., 2023). Analisis menggunakan pembebanan 30 kPa, tinggi timbunan $H = 4$ m, $Q_u = 857$ kN, $Q_{all} = 342,8$ kN, dan $FK = 2,5$.

Analisis kebutuhan panjang tiang untuk *rigid inclusion* dilakukan dengan pembebanan sama dengan analisis *pile embankment* pada Tabel 1 dan Tabel 2. Parameter berat jenis tanah, berat jenis beton, lebar dan

Tabel 3. Spesifikasi *mini pile* 30×30 cm

Properti Material	Kelas			
	A2	A3	B	C
Diameter luar D (mm)	300	300	300	300
Tebal T (mm)	60	60	60	60
Luas penampang (cm ²)	452	452	452	452
Berat/panjang (kg/m)	113	113	113	113
Panjang (m)	6-13	6-13	6-13	6-13
Momen retak (ton.m)	2,50	3,00	3,50	4,00
Momen ultimit (ton.m)	3,75	4,50	6,30	8,00
Gaya aksial izin (ton)	72,60	70,75	67,50	65,40



Gambar 7. Pengujian Cone Penetration Test Ultimate (CPTU)

tinggi timbunan serta nilai pembebanan lalu lintas baik itu beban perkerasan maupun beban lalu lintas yang digunakan saat proses analisis *pile embankment* pada (Tabel 4) untuk lokasi badan timbunan dan (Tabel 5) untuk lokasi kaki timbunan juga digunakan pada analisis *rigid inclusion*.

Berdasarkan hasil analisis *rigid inclusion* dengan *software* Plaxis diperoleh nilai FK Statik = 2,45 dan FK Gempa = 1,88 (Gambar 11). Setelah itu dilakukan analisis *bending moment* untuk mengetahui kapasitas momen yang terjadi pada *rigid inclusion* (Gambar 12). Penanganan *rigid inclusion* menggunakan fondasi *bore pile* diameter 40 cm dengan kedalaman 27 m pada tinggi timbunan $H = 4$ m dengan jarak 1 m pada badan timbunan dan jarak 2 m pada kaki timbunan.

3.2.3 Pile Slab

Pile slab merupakan struktur fondasi penanganan tanah lunak yang ditumpu oleh sistem kelompok tiang pancang dan diikat oleh *pile cap* (Yanto, 2023). Kelompok tiang ini digunakan untuk menahan dan meneruskan beban dari struktur atas ke dalam tanah sampai kedalaman yang mempunyai daya dukung untuk menahannya.

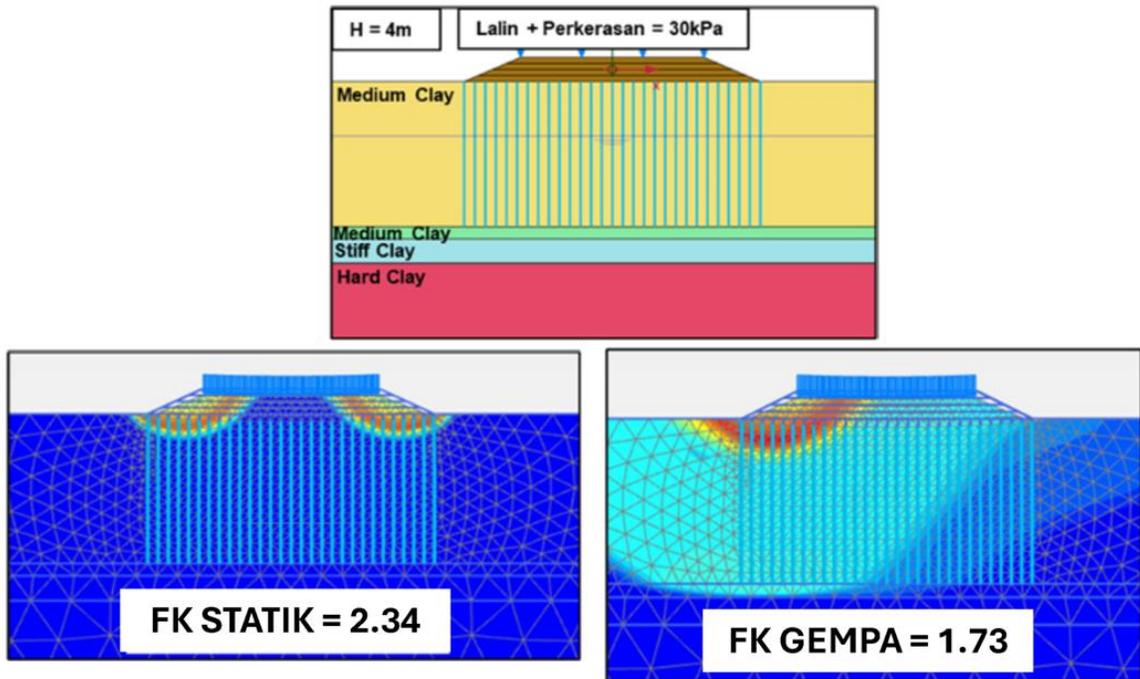
Tabel 4. Perbandingan alternatif biaya

Alternatif Penanganan	Biaya (Rp)
PVD + <i>preloading</i>	22.026.226.934,94
<i>Rigid inclusion</i>	189.239.359.736,68
<i>Pile embankment</i>	101.371.587.992,38
<i>Pile slab</i>	33.578.110.960,92

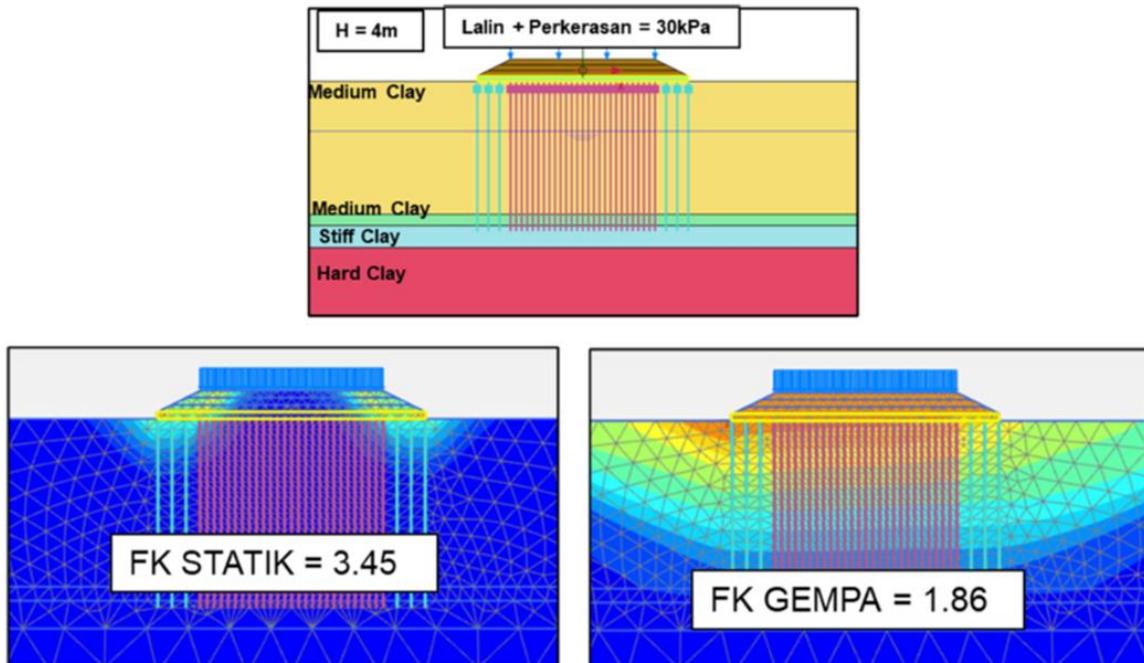
Standar pembebanan yang digunakan pada struktur jembatan adalah SNI 1725:2016 dengan beban-beban yang diperhitungkan dalam desain adalah berat sendiri struktur, beban mati tambahan, beban hidup, beban truk dan beban rem.

Pile slab didesain dengan umur rencana 50 tahun menggunakan *concrete spun pile* (CSP) Ø600 mm

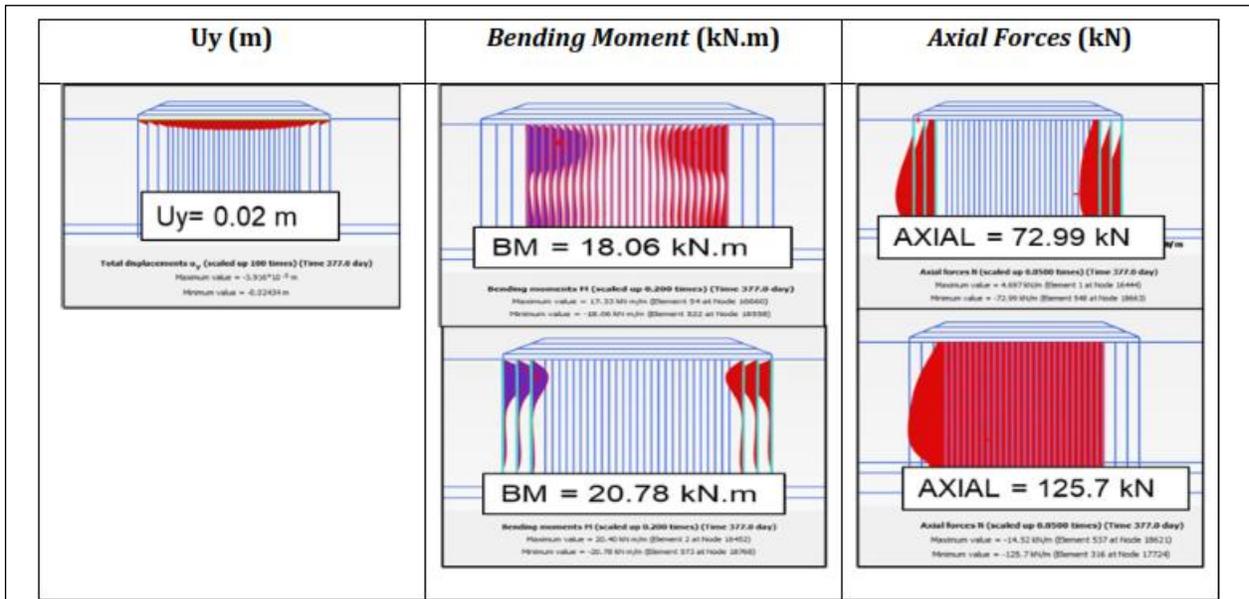
dengan mutu beton $f_c' = 51$ MPa, *pile head*, *slab*, dan isian *spun pile* dengan mutu beton $f_c' = 30$ MPa. Analisis desain *pile slab* dilakukan menggunakan *software* Midas Civil dengan FK Statik = 2,59 dan FK Gempa = 3,30 seperti pada Gambar 13. Permodelan digambarkan berdasarkan tahapan konstruksi yang akan dilaksanakan di lapangan. Selanjutnya, analisis daya dukung aksial



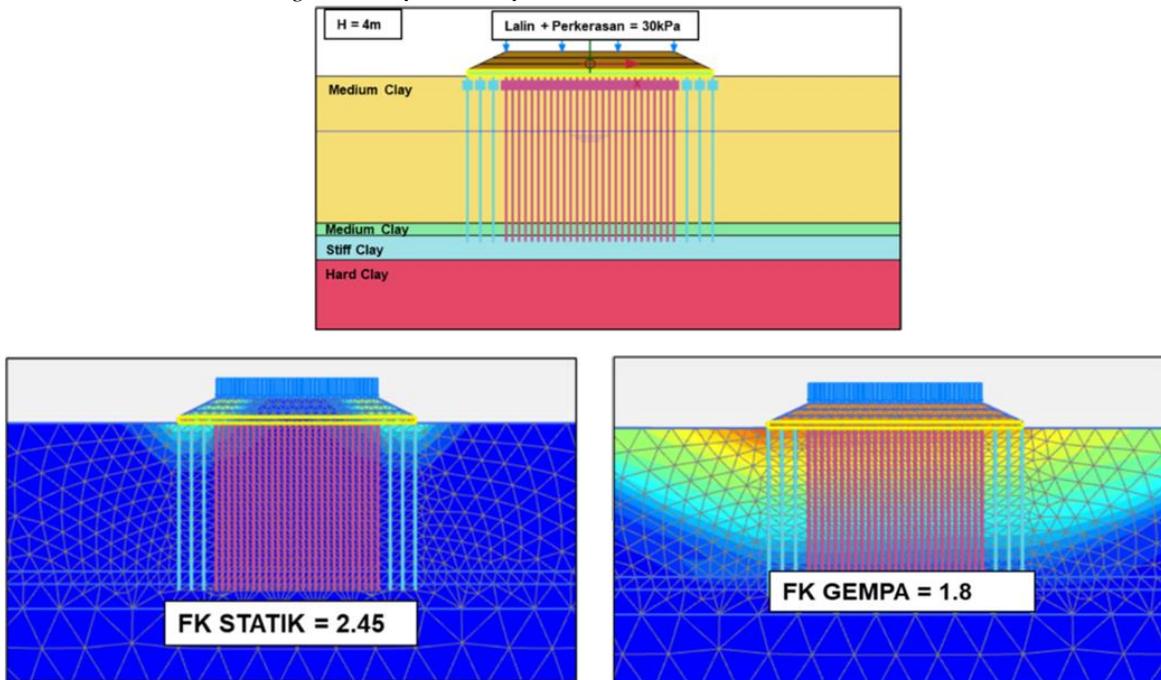
Gambar 8. Analisis PVD + preloading dengan Plaxis



Gambar 9. Analisis pile embankment dengan Plaxis



Gambar 10. Analisis *bending moment* pada *mini pile*



Gambar 11. Analisis *rigid inclusion* dengan Plaxis

pada tiang pancang dilakukan berdasarkan data *bore log* di lokasi terdekat. Berdasarkan analisis tersebut, nilai daya dukung rencana dengan panjang tiang tertanam 32 m diperoleh sebesar 3598,31 kN (Gambar 14).

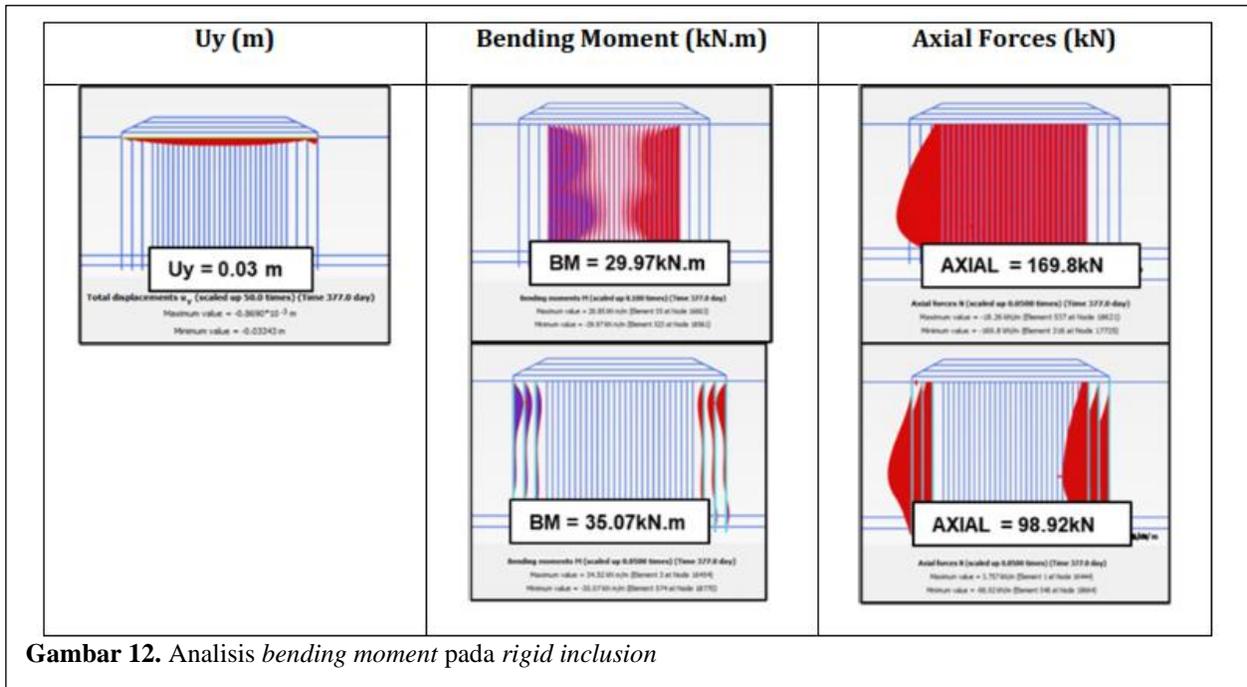
3.3 Analisis Optimalisasi Desain

3.3.1 Aspek Biaya

Berdasarkan analisis penanganan awal (RTA) menggunakan timbunan - PVD dengan *preloading* dan tiga alternatif desain penanganan di atas, pemilihan alternatif penanganan dipilih berdasarkan aspek waktu

pelaksanaan dan biaya penanganan. Biaya penanganan dengan *pile embankment* dan *rigid inclusion* lebih tinggi dibandingkan dengan *pile slab* dan PVD + *preloading*, perbandingan biaya dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan aspek biaya, biaya konstruksi dengan desain *pile embankment* senilai Rp 101.371.587.992,38, biaya konstruksi dengan desain *rigid inclusion* senilai Rp. 189.239.359.736,68 lebih besar dibandingkan biaya konstruksi dengan desain PVD + *preloading* senilai Rp. 22.026.226.934,94 dan biaya konstruksi dengan desain



Gambar 12. Analisis bending moment pada rigid inclusion

pile slab senilai Rp. 33.578.110.960 (Tabel 4). Oleh karena itu, ditinjau dari aspek biaya desain yang dapat dikerjakan pada lokasi *main road* STA. 116+475 – 116+625 adalah desain PVD + *preloading* dan *pile slab*.

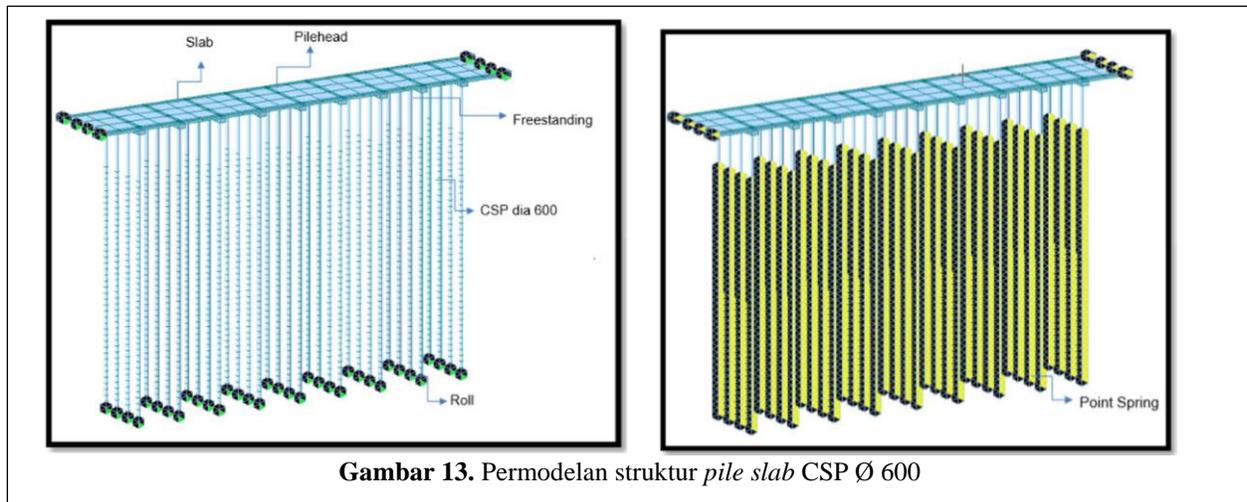
3.3.2 Aspek Waktu

Lokasi penanganan *main road* STA. 116+475 – 116+625 berada di alur sungai dan bersinggungan dengan struktur *interchange* sehingga pemilihan penanganan tanah lunak dengan PVD + *preloading* harus dilakukan sebelum atau setelah penanganan struktur *interchange*. Apabila desain PVD + *preloading* diterapkan sebelum pekerjaan struktur *interchange* maka waktu pelaksanaan pekerjaan diperkirakan selesai selama 283 hari (Gambar 15) yang berpotensi menyebabkan keterlambatan proyek. Lain halnya jika alternatif *pile slab* dipilih, waktu

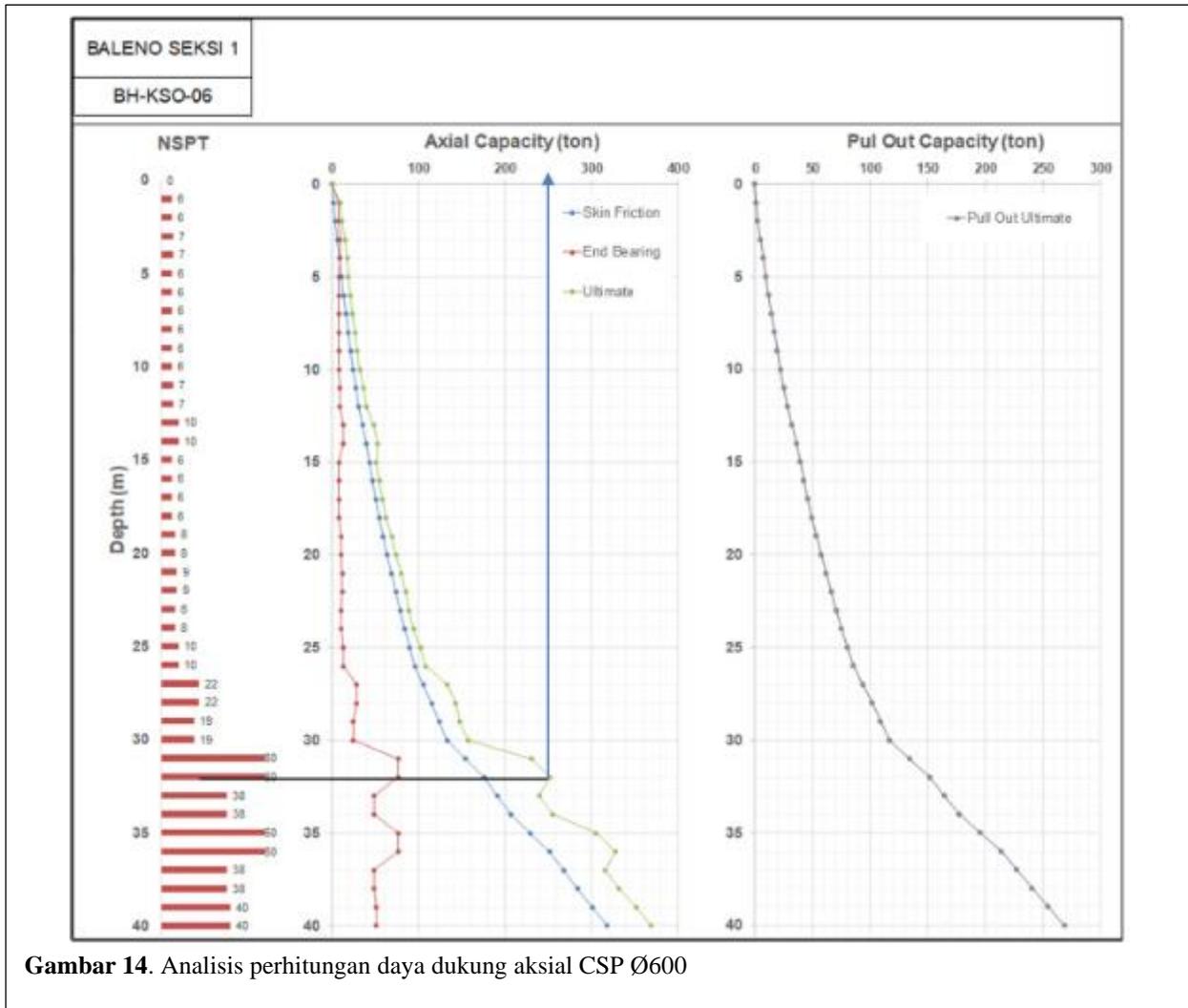
pelaksanaan akan lebih cepat dengan estimasi selesai selama 129 hari (Gambar 16). Dengan demikian, desain awal yaitu PVD + *preloading* tidak sesuai untuk diterapkan dengan masa kontrak yang dipersingkat.

Karena waktu pelaksanaan pekerjaan PVD + *preloading* melebihi dari waktu pelaksanaan yang direncanakan, maka alternatif penanganan yang diusulkan untuk penanganan tanah lunak adalah dengan menggunakan *pile slab* dikarenakan dapat dikerjakan secara paralel dengan pekerjaan struktur *interchange*.

Perbandingan waktu juga disimulasikan dengan *Building Information Modelling* (BIM). Dengan menggunakan 3D model yang digabungkan dengan penjadwalan menjadi 4D *scheduling*, maka visualisasi dan simulasi konstruksi dapat dibuat (Aziz dkk., 2024).



Gambar 13. Permodelan struktur *pile slab* CSP Ø 600



Gambar 14. Analisis perhitungan daya dukung aksial CSP Ø600

Berdasarkan simulasi 4D *scheduling*, pekerjaan *pile slab* lebih cepat dibandingkan pekerjaan PVD + *preloading* (Gambar 17).

3.3.3 Aspek Metode Pelaksanaan

Berdasarkan metode pelaksanaan, desain PVD + *preloading* membutuhkan waktu yang lebih lama. Tahapan penimbunan PVD + *preloading* tidak dapat dikerjakan secara berkelanjutan seperti halnya pada timbunan tanpa penanganan. Timbunan *preloading* hanya diperbolehkan mencapai ketinggian 1 m selama 1 minggu. Proses timbunan *preloading* membutuhkan waktu yang cukup lama yang bertujuan agar PVD dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) dapat bekerja secara maksimal. Ketika kondisi hujan, maka pekerjaan timbunan *preloading* tidak dapat dilanjutkan. Pekerjaan penimbunan dapat dilanjutkan ketika kondisi timbunan tanah sebelumnya sudah mulai mengering.

Setelah timbunan mencapai elevasi top *preloading*, sejak itulah dimulai masa tunggu sesuai perhitungan perencanaan. Masa tunggu yang terjadi bisa

sama dengan masa tunggu saat perencanaan, atau bisa lebih cepat dan lebih lama. Penentuan keputusan *unloading* timbunan *preloading* berdasarkan hasil bacaan monitoring instrumentasi geoteknik, seperti *settlement plate*, *piezometer* dan *inclinometer*.

Hasil pekerjaan *pile slab* dapat terukur dengan adanya pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) *test*. Dari hasil PDA *test* tersebut dapat diketahui apakah daya dukung tiang sudah memenuhi syarat atau belum. Jika pekerjaan menggunakan PVD, tingkat keberhasilannya cukup sulit terukur karena bisa saja terjadi konsolidasi lagi setelah dilakukan PVD, sehingga memakan waktu lebih lama lagi.

Di sisi lain, metode pelaksanaan desain *pile slab* lebih mudah dikerjakan karena alat dan material pekerjaan sudah tersedia. Sementara untuk pekerjaan lantai *slab on pile* dapat menggunakan beton *precast* sehingga tidak memerlukan banyak pekerjaan bekisting yang kompleks dan dapat mempercepat waktu pelaksanaan. Sementara itu, penggunaan dengan

	i	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish
2			↳ Opsi 1 : PVD + Preloading (RTA)	283 days	Tue 01/08/23	Thu 09/05/24
3			↳ Tanah	7 days	Tue 01/08/23	Mon 07/08/23
4			Pembersihan Tempat Kerja	5 days	Tue 01/08/23	Sat 05/08/23
5			Galian Biasa untuk Timbunan	1 day	Sun 06/08/23	Sun 06/08/23
6			Galian Biasa untuk Dibuang (Waste)	1 day	Mon 07/08/23	Mon 07/08/23
7			▷ Preloading	193 days	Tue 08/08/23	Fri 16/02/24
19			▷ Struktur	22 days	Tue 08/08/23	Tue 29/08/23
27			▷ Perkerasan Beton	15 days	Sat 24/02/24	Sat 09/03/24
34			▷ Drainase	7 days	Sat 17/02/24	Fri 23/02/24
41			▷ Finishing	61 days	Sun 10/03/24	Thu 09/05/24

Gambar 15. Waktu pelaksanaan PVD + preloading

	i	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish
174			↳ Opsi 5 : Pile Slab	129 days	Tue 01/08/23	Thu 07/12/23
175			▷ Struktur	103 days	Tue 01/08/23	Sat 11/11/23
201			↳ Perkerasan Lentur	17 days	Sun 12/11/23	Tue 28/11/23
202			Bitumen Lapis Perekat (Tack Coat)	6 days	Sun 12/11/23	Fri 17/11/23
203			Asphalt Concrete Wearing Course (AC WC)	10 days	Sat 18/11/23	Mon 27/11/23
204			Aspal Performance Grade 70	1 day	Tue 28/11/23	Tue 28/11/23
205			↳ Drainase	12 days	Thu 09/11/23	Mon 20/11/23
206			Pipa Drainase D=15cm dengan fitting dan penopa	3 days	Thu 09/11/23	Sat 11/11/23
207			Deck Drain Tipe 1 dengan Perlengkapannya	9 days	Sun 12/11/23	Mon 20/11/23
208			↳ Finishing	9 days	Wed 29/11/23	Thu 07/12/23
209			Marka Jalan, Tipe A (Penerapan Umum)	3 days	Wed 29/11/23	Fri 01/12/23
210			Delineator, Tipe B	6 days	Sat 02/12/23	Thu 07/12/23
211			Finish	0 days	Thu 09/05/24	Thu 09/05/24

Gambar 16. Waktu pelaksanaan pile slab

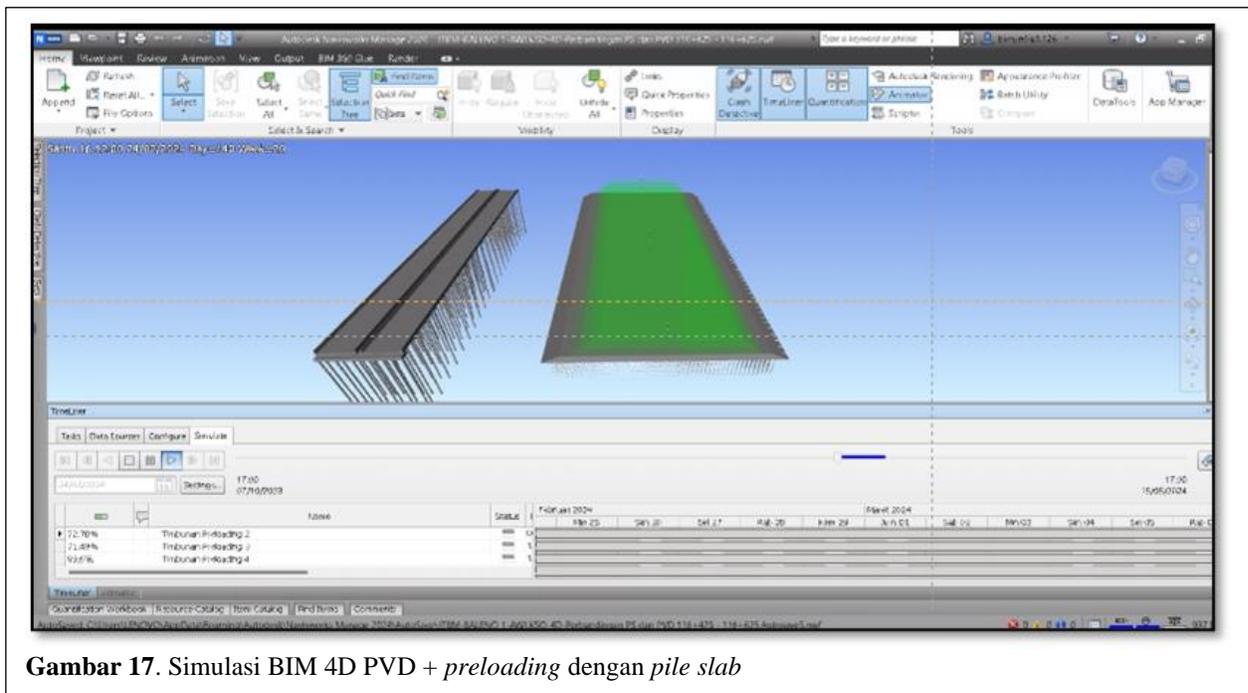
alternatif penanganan lainnya masih perlu melakukan mobilisasi alat tambahan serta memerlukan waktu pelaksanaan persiapan pekerjaan yang lebih panjang. Pada pekerjaan *pile slab*, kecepatan produksi, pelaksanaan pekerjaan di lapangan seperti material tiang pancang, *precast half slab*, pekerjaan pemancangan, pembesian dan pengecoran dapat dipercepat dengan penambahan sumber daya berupa bahan material, alat dan tenaga kerja.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa percepatan masa pelaksanaan pekerjaan yang semula 595 hari menjadi 400 hari kalender memerlukan percepatan pekerjaan sehingga desain yang optimal dari segi waktu dan biaya sangat diperlukan. Lokasi *main road* STA. 116+475 – 116+625

yang berada pada lokasi *interchange* memiliki jenis pekerjaan yang banyak dan saling berkaitan serta memiliki kondisi tanah lunak.

Analisis desain awal dengan menggunakan PVD + *preloading* menunjukkan bahwa penerapan desain tersebut pada lokasi *main road* STA. 116+475 – 116+625 tidak dapat diselesaikan sampai masa kontrak pelaksanaan. Desain *pile slab* merupakan desain yang paling optimal dari aspek biaya, waktu, dan metode pelaksanaan. Dengan penerapan desain *pile slab*, maka lokasi *main road* STA. 116+475 – 116+625 dapat selesai dengan durasi 154 hari lebih cepat atau melebihi 2 kali lipat dibanding pekerjaan PVD + *preloading*. Selain itu, *pile slab* dapat dikerjakan secara paralel dengan pekerjaan struktur *interchange* sehingga tidak terjadi keterlambatan dengan masa kontrak pelaksanaan yang dipercepat.



Gambar 17. Simulasi BIM 4D PVD + preloading dengan pile slab

Tingkat keberhasilan pekerjaan *pile slab* lebih dapat terukur dibandingkan pekerjaan PVD + *preloading* karena pekerjaan PVD + *preloading* memiliki potensi waktu konsolidasi tanah lebih lama. Secara aspek teknis, PVD maupun *pile slab* tetap bisa dikerjakan di lapangan. Pemilihan optimasi desain ini lebih condong ke waktu pelaksanaan agar lebih cepat diselesaikan karena adanya pengurangan durasi kontrak pelaksanaan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada PT. Adhi Karya (Persero) Tbk. khususnya manajemen Departemen Infrastruktur 1 dan juga kepada manajemen Proyek Pembangunan Jalan Tol Bayung Lencir – Tempino Seksi 1 yang telah mendukung terkait data-data yang digunakan dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

Aziz, R. M., Nasreldin, T. I., & Hashem, O. M. (2024). The role of BIM as a lean tool in design phase. *Journal of Engineering and Applied Science* 71(23), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00340-3>.

Bakry, I., Moselhi, O., and Zayed, T. (2014). Optimized acceleration of repetitive construction projects. *Automation in Construction* 39, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.07.003>.

Badan Geologi. (2019). ATLAS Sebaran Batu Lempung Bermasalah Indonesia. Bandung: Badan Geologi - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Bian, X., Liu, S., Duan, X., Jiang, J., & Chen, Y. (2024). Dynamic soil arching effect in pile-supported

embankment due to train passages at high speeds.” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 181, 108690. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108690>.

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. (2022). ATLAS Tapak Lokal (Vs30) Indonesia Berdasarkan Klasifikasi Geomorfologi Teknik. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Robertson, P. K. & Campanella, R. G. (1983). Interpretation of cone penetration tests. Part I: Sand.” *Canadian Geotechnical Journal* 20(4), 718–33. <https://doi.org/10.1139/t83-078>.

Samy, M. N., Ahmed, A. A., Fayed, A. L., Sorour, T., & Hammad, M. S. (2023). Installation effect of rigid inclusions in soft clay improvement. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(11), 102552. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102552>.

SNI 1725:2016. (2016). Pembebanan untuk jembatan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Yanto, F. H. (2023). Strength analysis of formwork using falsework flying system on slab-on pile structure. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 19(4), 208–221. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2023-19-4-208-221>.

Zaika, Y., Kololikiye, G. R., and Harimurti. (2023). The PVD-accelerated soil deposit consolidation based on elliptic cylindrical model. *Civil Engineering Journal* 9(7), 1660–68. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-07-08>.