

Analisis Stabilitas dan Estimasi Biaya Pekerjaan Perbaikan Timbunan Tanah pada Abutment 2 STA 3+000 Simpang Susun Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 1

Rizky Ristanto Adiputra, Desy Mega Yudhisari

ABSTRAK

Pengembangan proyek tol di Indonesia memerlukan pendekatan yang cermat dalam pemilihan metode dan pelaksanaan konstruksi timbunan tanah. Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 1 adalah bagian dari proyek keberlanjutan Trans Jawa. Di tengah proses konstruksinya, terdapat timbunan tanah di abutment 2 STA 3+000 Simpang Susun yang harus ditambahkan perkuatan dikarenakan desain RTA sebelumnya tidak memenuhi kriteria faktor keamanan, dengan Batasan 1.5. Terdapat tiga usulan desain alternatif yang dievaluasi beserta dengan biayanya. Dari ketiga desain tersebut, desain alternatif ke-3 dengan menggunakan geotekstil 100 kN/m dengan jarak per 1 meter menunjukkan stabilitas struktural yang memadai dan memenuhi standar keamanan. Selain itu, analisis pada estimasi biaya yang telah dihitung menyatakan bahwa alternatif ke-3 memberikan solusi yang ekonomis dengan biaya terendah.

Kata Kunci: Timbunan Tanah, Geotekstil, Estimasi Biaya, Jalan Tol

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan tol di Indonesia telah menjadi tonggak penting dalam meningkatkan konektivitas serta mempermudah mobilitas orang, barang dan jasa demi mendukung pertumbuhan ekonomi Indonesia. Proyek tol Probolinggo-Banyuwangi Paket I yang direncanakan memiliki Panjang 12,88 KM menyambungkan tol Gending hingga Kraksaan merupakan bagian dari jaringan Jalan Tol Trans Jawa yang sedang dalam pelaksanaan konstruksi dan direncanakan rampung pada Agustus 2024 mendatang. Sebagai proyek strategis, Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket I membentang melalui berbagai topografi dan karakteristik tanah yang kompleks, termasuk perlintasan lahan pertanian, sungai dan pemukiman penduduk.

Pada tahap awal proyek ini, pekerjaan timbunan tanah menjadi fokus utama untuk menciptakan landasan jalan tol yang kokoh dan berkelanjutan. Proyek ini adalah sebagai bagian integral dari infrastruktur transportasi di Indonesia menuntut pemahaman mendalam tentang metode dan proses konstruksi timbunan tanah. Sebagai bagian dari proyek tersebut, timbunan tanah di abutmen 2 simpang susun memerlukan perhatian khusus dalam bentuk perbaikan timbunan tanah guna memastikan kestabilan strukturalnya. Perbaikan timbunan ini mendesak karena timbunan tanah dinyatakan memerlukan tambahan perkuatan hingga mencapai kriteria *safety factor* yang ditetapkan.

Ketahanan dan keamanan infrastruktur jalan tol menjadi aspek utama yang harus dijaga untuk memastikan penggunaan yang aman dan nyaman bagi para pengguna jalan. Maka sebab itu diusulkan beberapa alternatif desain, sehingga pada penelitian ini akan dibahas satu per satu untuk setiap desain alternatif beserta dengan biaya yang akan diperlukan untuk memperbaiki timbunan tanah pada abutment 2 simpang susun proyek Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket I. Melalui pemahaman mendalam terhadap kondisi existing di abutmen 2, penelitian ini akan mengevaluasi solusi perbaikan yang efektif, efisien, dan berkesinambungan. Tiga desain alternatif akan dikaji dengan seksama, dengan mempertimbangkan kriteria keamanan, mutu konstruksi, waktu pelaksanaan, dan faktor biaya. Diharapkan bahwa temuan dari penelitian ini akan memberikan panduan dalam pengembangan solusi perbaikan timbunan tanah yang optimal.

LATAR BELAKANG

Seiring dengan bertambahnya penduduk di Jawa Timur maka semakin bertambah juga kebutuhan masyarakat di area tersebut. Hal itu membuat tingkat mobilitas masyarakat meningkat sehingga muncul tuntutan untuk mendapatkan barang-barang kebutuhan sehari-hari secara cepat. Sehingga dibutuhkan pembangunan jalan tol untuk menunjang akses jalan tersebut. Dengan adanya jalan tol akan memudahkan sarana dan prasarana lain yang dibutuhkan oleh masyarakat. Untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dan juga distribusi pengiriman logistik melalui jalur darat pun akan lebih memangkas waktu perjalanan.

Salah satu jaringan dari proyek pemerintah yaitu proyek Tol Trans Jawa adalah proyek Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket I. Tol ini akan menyambungkan tol terakhir saat ini, yaitu Gending hingga Kraksaan. Namun di Proyek Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket I

terdapat permasalahan geoteknik yaitu desain timbunan tanah di area abutment 2 simpang susun dinyatakan tidak memenuhi nilai minimum faktor keamanan sehingga dapat beresiko *collapse*. Sehingga dibutuhkan metode perbaikan tanah yang sesuai dan efisien agar timbunan tanah tetap stabil untuk jangka waktu yang panjang.



Gambar 1 Kondisi lapangan saat ini

Pada Gambar 1 dapat dilihat kondisi lapangan saat ini di area abutment 2 simpang susun yang telah ditimbun tanah setinggi 4.5 m. Sebelum melanjutkan ke layer berikutnya, diperlukan solusi yang efisien untuk memperkuat timbunan tanah tersebut. Sehingga jurnal ini dibuat untuk membantu pihak yang bersangkutan untuk menentukan alternatif terbaik dari desain-desain alternatif yang telah diusulkan.

TINAJUAN PUSTAKA

1. Jalan Tol

Jalan tol, atau jalan bebas hambatan, merupakan komponen vital dalam infrastruktur transportasi Indonesia, memainkan peran utama dalam mengoptimalkan konektivitas dan mempercepat lalu lintas kendaraan bermotor. Pedoman Umum Jalan Tol dari Departemen Perhubungan Republik Indonesia (2019) memberikan pandangan terinci tentang standar teknis yang diterapkan, termasuk jalur terpisah dan sistem gerbang tol.

Proses konstruksi jalan tol di Indonesia, sebagaimana dijelaskan oleh Soemarno (2008), melibatkan serangkaian tahapan teknis yang rumit. Metode konstruksi yang umum diterapkan melibatkan pembentukan timbunan tanah, perkerasan jalan, konstruksi jembatan, dan

pekerjaan drainase. Pemilihan metode ini dipengaruhi oleh karakteristik geoteknik setempat, kondisi alam, dan tuntutan desain teknis.

Santosa (2015) menyoroti kompleksitas analisis geoteknik dan rekayasa yang terlibat dalam perencanaan jalan tol, termasuk evaluasi tanah, perhitungan struktur timbunan, dan manajemen risiko geoteknik. Dalam hal ini, integrasi geotekstil menjadi bagian kritis untuk meningkatkan stabilitas dan daya dukung.

Jalan tol di Indonesia bukan hanya sebuah infrastruktur, tetapi juga investasi yang memerlukan manajemen proyek yang cermat. World Road Association (2016) memberikan wawasan tentang tata kelola proyek jalan tol, dengan fokus pada koordinasi antar *stakeholder*, manajemen risiko, dan keberlanjutan.

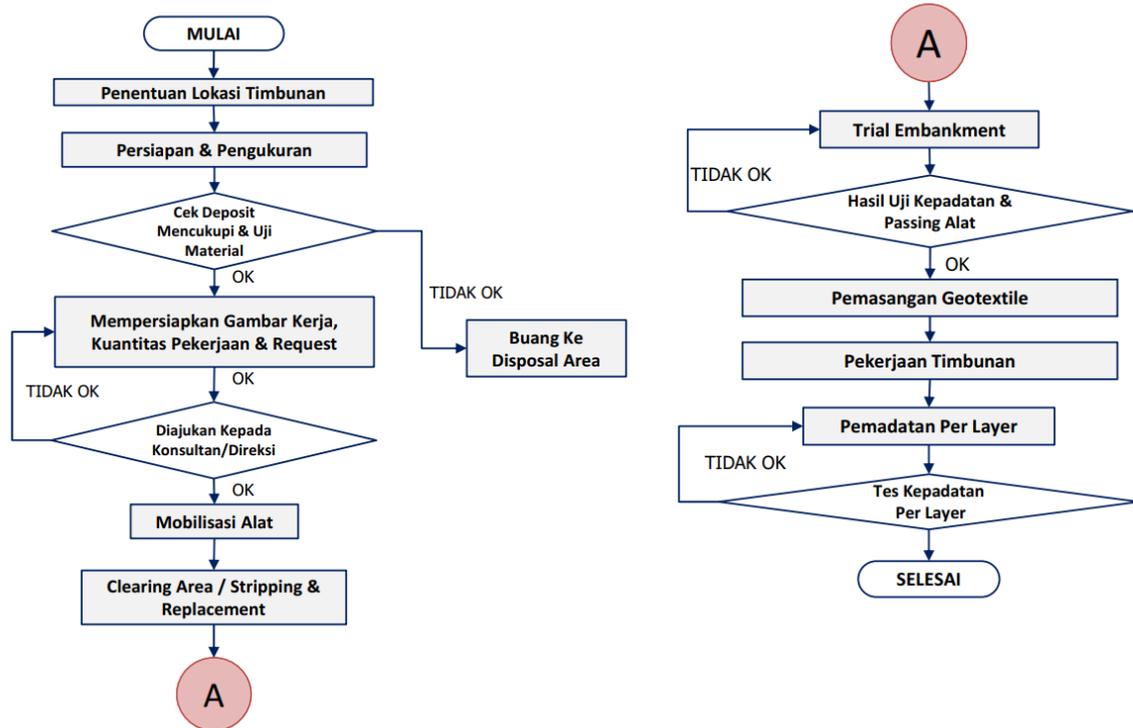
2. Struktur Timbunan

Struktur timbunan adalah elemen konstruksi yang umumnya digunakan dalam rekayasa sipil dan geoteknik untuk mendukung beban tertentu atau membentuk perkerasan. Di Indonesia, penggunaan struktur timbunan umumnya terkait dengan pembangunan infrastruktur transportasi dan perumahan.

Menurut Das (2013), struktur timbunan dapat terdiri dari berbagai bahan, seperti tanah, kerikil, atau batu pecah, yang ditempatkan dan dikompaksi secara bertahap untuk mencapai tingkat kepadatan dan kekuatan yang diinginkan. Proses ini melibatkan penggunaan alat-alat berat dan metode konstruksi yang sesuai.

Penerapan struktur timbunan dalam konteks jalan tol atau jalan raya di Indonesia mendapat perhatian khusus. Budhu (2011) menjelaskan bahwa desain struktur timbunan harus mempertimbangkan parameter geoteknis lokal, termasuk sifat tanah, iklim, dan beban lalu lintas. Dalam panduan teknis yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (2019), peran struktur timbunan dalam mendukung stabilitas dan daya dukung jalan dijelaskan secara rinci.

Bowles (1996) menyoroti pentingnya perencanaan dan analisis geoteknik dalam struktur timbunan. Analisis tersebut melibatkan evaluasi kapasitas beban, perhitungan penurunan *settlement*, dan upaya penguatan tanah jika diperlukan.



Gambar 2 Bagan alir tahapan proses pekerjaan timbunan tanah

Proses pembangunan timbunan tanah melibatkan serangkaian tahapan yang terorganisir secara sistematis yang dijelaskan pada gambar 2. Tahapan pertama adalah penentuan lokasi timbunan, di mana lokasi optimal dipilih dengan mempertimbangkan faktor geoteknik dan topografi. Langkah berikutnya melibatkan persiapan area kerja dan pengukuran untuk menentukan dimensi serta volume yang dibutuhkan untuk timbunan. Setelah itu, cek deposit dan uji material dilakukan untuk memastikan ketersediaan dan kualitas tanah yang memadai.

Mempersiapkan gambar kerja, perhitungan kuantitas pekerjaan, dan menyiapkan dokumen *request* bahan serta peralatan menjadi langkah penting sebelum diajukan ke konsultan atau direksi proyek untuk evaluasi. Setelah mendapat persetujuan, tahap mobilisasi alat dan *clearing* area dilaksanakan, diikuti oleh pembangunan *trial embankment* sebagai uji coba awal.

Selanjutnya, pemasangan geotekstil bertujuan untuk meningkatkan stabilitas timbunan dan mengurangi risiko pergeseran tanah. Pekerjaan timbunan dimulai dengan penyebaran material tanah pada lokasi yang telah ditentukan. Proses pemadatan per layer dilakukan secara bertahap untuk mencapai tingkat kepadatan yang diinginkan. Tes kepadatan dilaksanakan setelah pemadatan untuk memastikan kualitas dan ketahanan timbunan. Akhirnya, pekerjaan

dianggap selesai setelah semua tahapan konstruksi dan pengujian telah terpenuhi sesuai dengan standar yang ditetapkan.

3. Replacement Soil

Pengganti tanah mengacu pada praktik mengganti atau mengubah tanah asli di suatu lokasi dengan tanah pengganti yang lebih sesuai atau diperlukan untuk tujuan konstruksi. Proses ini dapat melibatkan penggantian tanah yang tidak stabil atau kurang sesuai dengan tanah yang memiliki sifat mekanis yang lebih baik.

Menurut pedoman teknis Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (2019), pengganti tanah dapat melibatkan evaluasi sifat-sifat tanah asli, termasuk daya dukung, kepadatan, dan karakteristik geoteknik lainnya. Pemilihan tanah pengganti yang sesuai dan pemadatan yang tepat sangat penting untuk mencapai stabilitas dan keamanan konstruksi.

Analisis geoteknik dalam pemilihan pengganti tanah juga penting untuk memastikan bahwa tanah pengganti dapat menangani beban struktural yang diberikan. Das (2013) menjelaskan bahwa penilaian kekuatan dan perilaku tanah, termasuk modulus elastisitas dan modulus geser, diperlukan untuk memahami respons tanah terhadap beban.

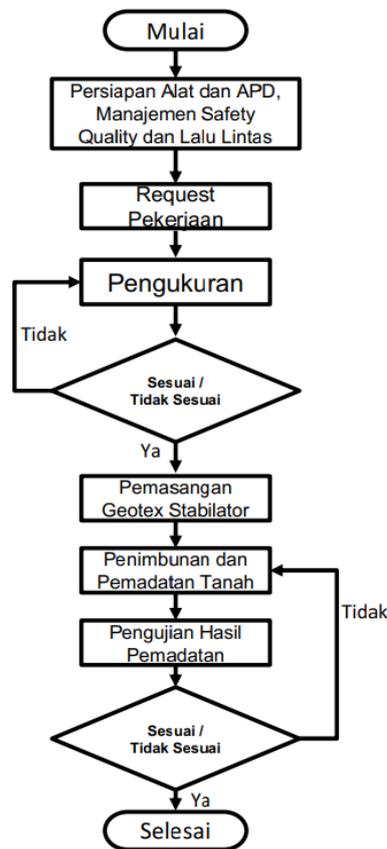
4. Geotekstil

Geotekstil adalah material tekstil sintesis yang secara khusus dirancang untuk digunakan dalam berbagai aplikasi geoteknik. Di Indonesia, penggunaan geotekstil semakin mendapatkan perhatian dalam pembangunan infrastruktur, terutama dalam konteks konstruksi jalan, tanah tinggi, dan proyek rekayasa sipil lainnya.

Koerner (2005) mendefinisikan geotekstil sebagai bahan yang memiliki sifat-sifat mekanis dan hidrolik yang dapat meningkatkan kinerja tanah atau material lainnya dalam suatu sistem struktur. Penerapannya melibatkan penempatan geotekstil di antara lapisan tanah atau material lain untuk mengendalikan erosi, meningkatkan stabilitas lereng, dan meningkatkan pemadatan tanah.

Panduan teknis Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (2019) memberikan informasi mendalam tentang penerapan geotekstil dalam proyek-proyek konstruksi di Indonesia. Geotekstil digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai pemisah lapisan tanah, penguatan fondasi, dan pengendalian erosi.

Giroud dan Noiray (1981) menyoroti peran geotekstil dalam aplikasi filtrasi dan drainase. Penggunaan geotekstil sebagai elemen pemisah dalam struktur timbunan atau konstruksi tanah tinggi dapat membantu mengontrol pergerakan air tanah dan meminimalkan risiko erosi. Penerapan geotekstil di Indonesia tidak hanya mencakup proyek-proyek besar di sektor infrastruktur, tetapi juga proyek-proyek skala kecil di sektor pertanian dan lingkungan. Hal ini mencerminkan sifat serbaguna geotekstil dalam meningkatkan kualitas dan keberlanjutan konstruksi.



Gambar 3 Bagan alir tahapan proses pemasangan geotekstil

Gambar 3 menunjukkan tahapan proses pemasangan geotekstil dalam konstruksi yang dimulai dengan persiapan alat dan peralatan serta pengaturan manajemen keamanan, kualitas, dan lalu lintas. Lalu dilanjutkan dengan membuat dokumen *request* pekerjaan dan melakukan pengukuran di lokasi pemasangan geotekstil. Pengukuran yang akurat menjadi kunci untuk

menentukan kebutuhan material geotekstil yang sesuai dengan kondisi lapangan. Apabila hasil pengukuran memenuhi persyaratan, maka proses pemasangan geotekstil stabilator dapat dilanjutkan.

Pemasangan geotekstil stabilator melibatkan penempatan dan pemasangan geotekstil sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan. Tahap selanjutnya adalah penimbunan dan pemadatan tanah di atasnya. Proses penimbunan dan pemadatan tanah dilakukan untuk membentuk timbunan yang stabil dan kokoh. Langkah ini melibatkan penggunaan alat berat untuk penimbunan dan pemadatan secara bertahap. Setelah selesai, dilakukan pengujian hasil pemadatan untuk memastikan bahwa kepadatan tanah sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

5. Estimasi Biaya

Estimasi biaya adalah proses penentuan perkiraan biaya yang diperlukan untuk melaksanakan suatu proyek atau kegiatan tertentu. Dalam konteks pembangunan dan konstruksi di Indonesia, estimasi biaya menjadi langkah kritis dalam perencanaan proyek untuk memastikan alokasi anggaran yang tepat dan efisien. Sejalan dengan pandangan tersebut, Choudhry et al. (2018) mengemukakan bahwa estimasi biaya yang akurat memungkinkan pemangku kepentingan untuk merencanakan sumber daya finansial dengan lebih baik, menghindari keterlambatan, dan mengelola risiko dengan lebih efektif.

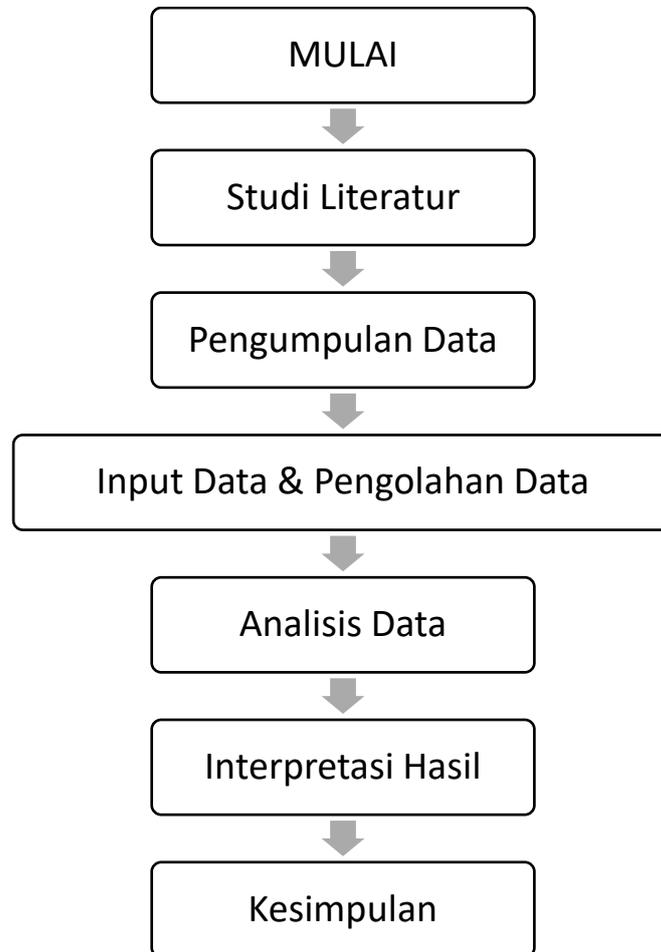
Menurut Kamaruddin (2010), estimasi biaya mencakup penghitungan jumlah dan nilai dari berbagai unsur biaya yang terkait dengan proyek, seperti biaya material, tenaga kerja, peralatan, dan biaya overhead. Proses ini melibatkan analisis mendalam terhadap spesifikasi teknis proyek dan kondisi lokal.

Manajemen risiko juga menjadi bagian integral dari estimasi biaya. Sunaryo et al. (2015) menekankan pentingnya memperhitungkan faktor risiko yang mungkin mempengaruhi biaya proyek, seperti fluktuasi harga material atau perubahan regulasi.

METODE

Jurnal ini dimaksudkan untuk memberikan informasi sistematis mengenai review desain alternatif dan estimasi biaya untuk menangani desain timbunan di Abutment 2 Simpang

Susun Proyek Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket I. Data tersebut diperoleh dari hasil analisa perhitungan stabilitas yang didapatkan perhitungan *software*. Untuk mempermudah tahapan penelitian ini, maka dibuat bagan alir yang menjadi acuan untuk tahapan-tahapan dalam pengerjaan dan penyusunan jurnal ini. Adapun bagan alir dari tahapan penelitian ini tercantum pada gambar bagan alir di bawah ini:



Gambar 4 Bagan alir tahapan penelitian

Studi Literatur: Langkah awal dalam metode penelitian adalah melakukan studi literatur untuk memahami penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik yang sedang diteliti. Ini membantu peneliti mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang kerangka kerja konseptual dan metodologi yang telah digunakan oleh penelitian sebelumnya.

Pengumpulan Data: Tahap ini melibatkan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk menjawab pertanyaan penelitian. Pengumpulan data untuk jurnal ini dilakukan dengan observasi dan pengumpulan data sekunder dari sumber-sumber yang sudah ada.

Input Data & Pengolahan Data: Setelah data terkumpul, langkah selanjutnya adalah memasukkan data ke dalam sistem dan melakukan pengolahan data. Ini termasuk langkah-langkah seperti pemrosesan statistik, analisis data, dan penyusunan data agar dapat diinterpretasikan dengan baik.

Analisis Data: Penelitian ini melibatkan analisis statistik. Analisis data dilakukan untuk mendapatkan wawasan dan mengidentifikasi pola atau hubungan dalam data.

Interpretasi Hasil: Setelah analisis data, hasilnya diinterpretasikan dengan merujuk pada pertanyaan penelitian dan tujuan penelitian. Ini melibatkan pembuatan kesimpulan dari temuan yang ditemukan selama analisis.

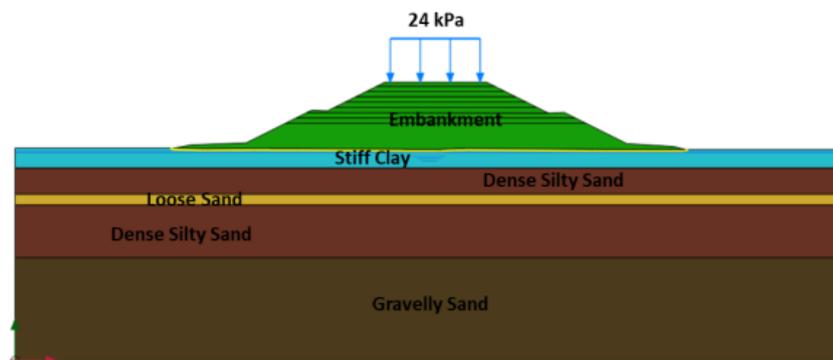
Kesimpulan: Kesimpulan adalah rangkuman dari temuan penelitian dan jawaban terhadap pertanyaan penelitian. Kesimpulan ini harus konsisten dengan data yang ditemukan dan memberikan wawasan yang bermanfaat.

HASIL

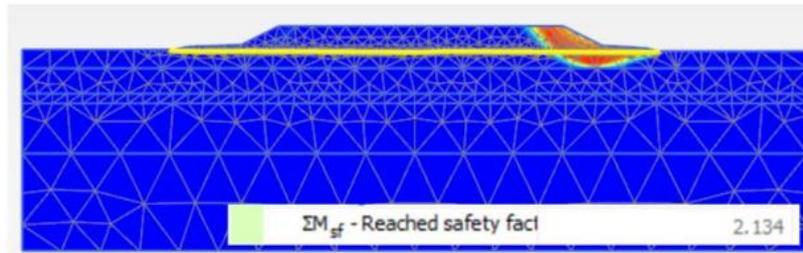
1. Review Desain Timbunan Tanah

1.1 Review Desain Kondisi Existing Tanah Timbunan

Gambar 5 adalah permodelan analisis kondisi *existing* tanpa adanya perkuatan sesuai dengan desain RTA sebelumnya. Permodelan *existing* tanah timbunan dengan desain kelas jalan I melibatkan analisis struktural yang cermat untuk memastikan kekuatan dan daya dukung tanah yang memadai. Ketika beban lalu lintas sebesar 15 Kpa diterapkan, perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengevaluasi dampaknya terhadap tanah timbunan. Selanjutnya, penambahan beban perkerasan sebesar 9 Kpa juga harus dipertimbangkan secara terpisah. Kombinasi kedua beban tersebut menghasilkan beban total jalan sebesar 24 Kpa.

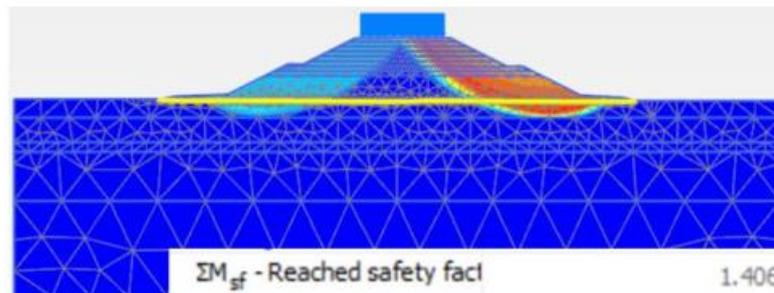


Gambar 5 Model STA 3+000 kondisi *existing* dan tanpa perkuatan



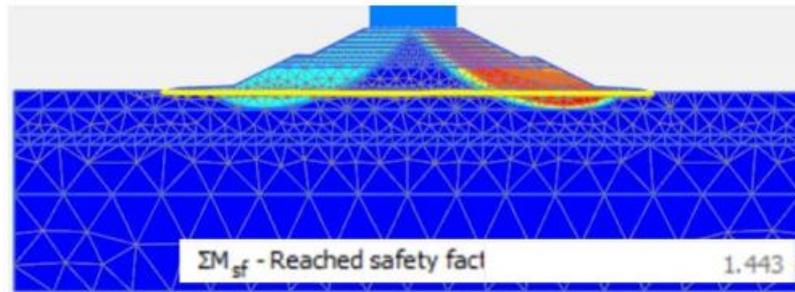
Gambar 6 Faktor keamanan kondisi *existing* STA 3+000 = 2.134 > 1.5 (Ok)

Dalam analisis ini, faktor keamanan kondisi *existing* ditemukan sebesar 2.134. Angka ini lebih besar daripada minimal nilai faktor keamanan konstruksi yang ditetapkan, yaitu 1.50. Peningkatan faktor keamanan yang signifikan menunjukkan bahwa kondisi *existing* timbunan tanah memiliki tingkat stabilitas yang memadai dan aman untuk digunakan tanpa perlu adanya perkuatan tambahan. Faktor keamanan konstruksi yang melebihi nilai minimum menandakan bahwa timbunan tanah di STA 3+000 memenuhi standar keselamatan yang diperlukan.



Gambar 7 Faktor keamanan *short term* STA 3+000 = 1.406 < 1.5 (Not Ok)

Gambar 7 menunjukkan hasil evaluasi yang menyatakan faktor keamanan *short term* mencapai nilai sebesar 1.406. Angka ini menunjukkan bahwa faktor keamanan kondisi *short term* berada di bawah minimal nilai yang diharapkan, yaitu 1.50. Faktor keamanan *short term*, yang mencerminkan perbandingan antara gaya stabilisasi dan gaya yang tidak stabil pada tahap awal konstruksi, menjadi indikator kritis untuk menilai stabilitas sementara timbunan tanah. Ketika faktor keamanan *short term* kurang dari nilai minimal, hal ini mengindikasikan adanya potensi risiko ketidakstabilan pada tahap awal pembangunan.

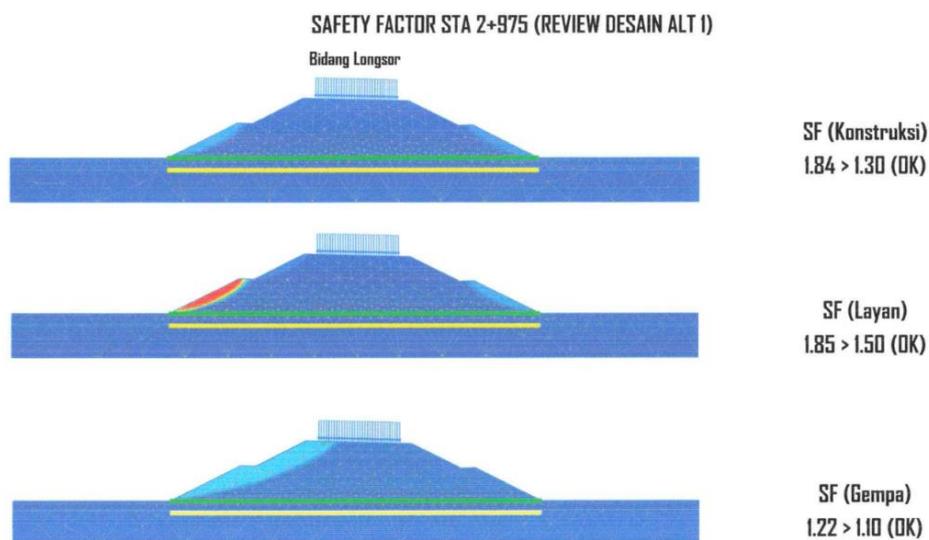


Gambar 8 Faktor keamanan long term STA 3+000 = 1.443 < 1.5 (Not Ok)

Nilai faktor keamanan long term juga ditunjukkan di gambar 8. Hasil nilai keamanan long term yang didapatkan untuk kondisi *existing* adalah 1.443, dimana nilai tersebut lebih kecil dari nilai minimal faktor keamanan, yaitu 1.5. Tingkat faktor keamanan long term, yang menilai stabilitas timbunan selama periode penggunaan jangka panjang, menunjukkan adanya potensi risiko ketidakstabilan yang perlu mendapatkan perhatian khusus.

1.2 Review Desain Replacement Soil 2.5 meter

Alternatif pertama adalah hasil perhitungan stabilitas yang menghasilkan nilai faktor keamanan. Gambar 9 memperlihatkan hasil *safety factor* pada desain stabilitas timbunan tanah dengan melakukan pekerjaan replacement soil sedalam 2.5 meter yang terdiri dari lapisan geotekstil separator pada dasar galian, timbunan granular setinggi 0.5 meter dan timbunan tanah biasa sampai dengan elevasi OGL (*Original Ground Level*). Lalu dilanjutkan dengan penggunaan geotekstil stabilator per 1 meter pada badan timbunan.



Gambar 9 Faktor keamanan konstruksi, layan dan gempa dengan replacement 2.5 m

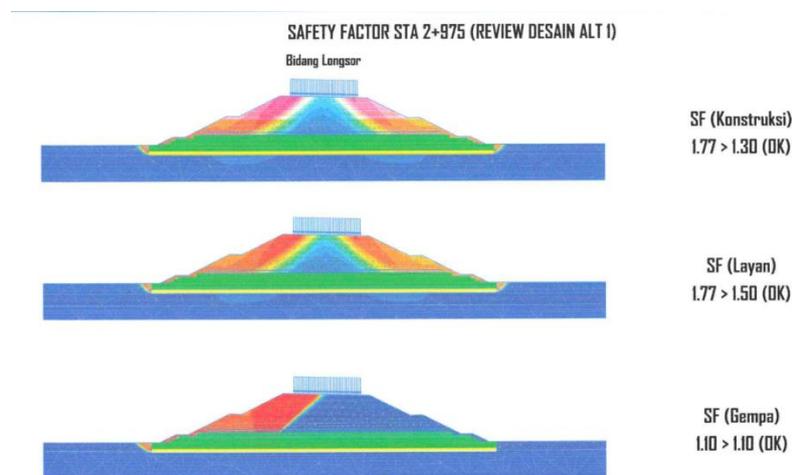
Implementasi desain timbunan pada STA 3+000 dengan memanfaatkan metode replacement soil pada kedalaman 2.5 meter berhasil mencapai nilai minimum faktor keamanan konstruksi. Berdasarkan hasil analisis, faktor keamanan konstruksi mencapai angka 1.84, menunjukkan peningkatan yang signifikan dari nilai minimal yang telah ditetapkan sebesar 1.30.

Pada sisi faktor keamanan layan, evaluasi mencapai angka tinggi sebesar 1.85, melebihi nilai minimal yang ditetapkan sebesar 1.50. Sehingga untuk kondisi layan, desain ini sudah cukup aman.

Hasil analisis faktor keamanan gempa juga menunjukkan prestasi yang baik, dengan angka sebesar 1.22. Meskipun hanya sedikit di atas nilai minimal yang ditetapkan sebesar 1.10, faktor keamanan gempa yang terpenuhi memberikan keyakinan bahwa desain timbunan ini mampu memberikan perlindungan ekstra terhadap potensi guncangan seismik. Analisis faktor keamanan konstruksi, layan, dan gempa menunjukkan bahwa desain timbunan dengan metode replacement soil pada kedalaman 2.5 meter di STA 3+000 berhasil menciptakan struktur yang sangat aman dan tahan lama.

1.3 Review Desain Replacement Soil 2 meter

Hasil dari review desain alternatif kedua yang diajukan oleh konsultan terlampir pada gambar 10 Dapat dilihat pada desain tersebut, mengaplikasikan galian replacement soil sedalam 2 meter yang terdiri dari geotekstil separator pada lapisan dasar, 3 lapis geotekstil stabilator, 0.5 meter granular dan timbunan tanah biasa hingga elevasi OGL. Lalu dilanjutkan dengan penggunaan geotekstil stabilator pada badan timbunan.



Gambar 10 Faktor keamanan konstruksi, layan dan gempa dengan replacement 2 m

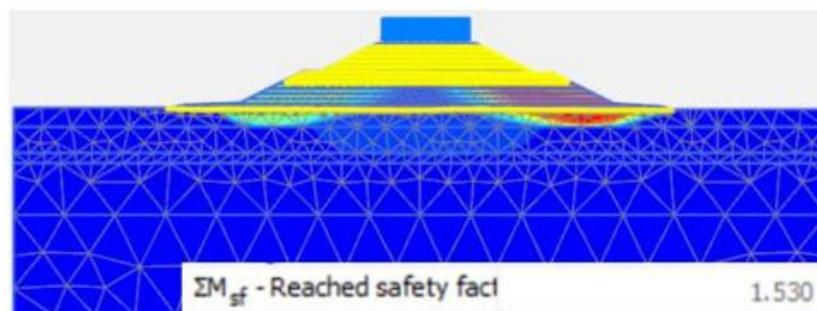
Penerapan desain timbunan tanah STA 3+000 dengan menggunakan metode replacement soil pada kedalaman 2 meter telah menghasilkan evaluasi faktor keamanan konstruksi yang sangat memuaskan. Berdasarkan hasil analisis, faktor keamanan konstruksi mencapai angka 1.77. Angka ini tidak hanya memenuhi standar minimal yang telah ditetapkan untuk faktor keamanan konstruksi, yaitu 1.30, tetapi juga secara signifikan melampaui nilai tersebut.

Analisis faktor keamanan layan pada desain timbunan ini juga mencapai angka yang mengesankan, yakni 1.77. Nilai ini tidak hanya memenuhi, tetapi juga melebihi nilai minimal yang telah ditetapkan untuk faktor keamanan layan, yaitu 1.50.

Terakhir, hasil analisis faktor keamanan gempa menunjukkan angka sebesar 1.10, yang memenuhi nilai minimal yang ditetapkan sebesar 1.10. Meskipun dalam batas minimal, faktor keamanan gempa yang terpenuhi menunjukkan bahwa desain timbunan dengan replacement soil tetap memberikan tambahan keamanan terhadap potensi guncangan seismik.

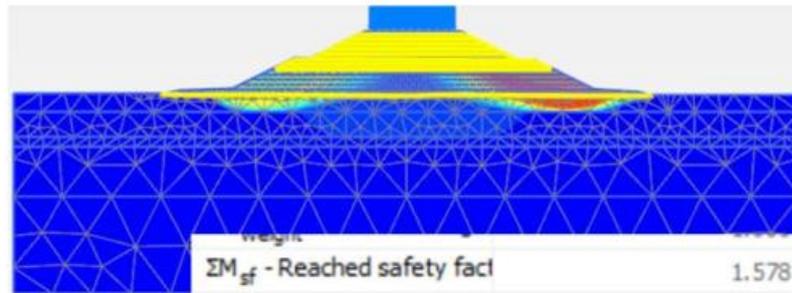
1.4 Review Desain Timbunan dengan Geotekstil 100 kN/m jarak 1 meter

Pada gambar 11 menjelaskan desain *review* menggunakan penambahan perkuatan dengan geotekstil 100 kN per 1 meter timbunan tanah. Keamanan desain ini terbukti dari hasil perhitungan desain, di mana nilai *safety factor* telah tercapai. Penggunaan geotekstil 100 kN pada alternatif desain ini tidak memerlukan pembongkaran timbunan karena hanya melanjutkan pemasangan geotekstil 100 kN pada badan timbunan selanjutnya.



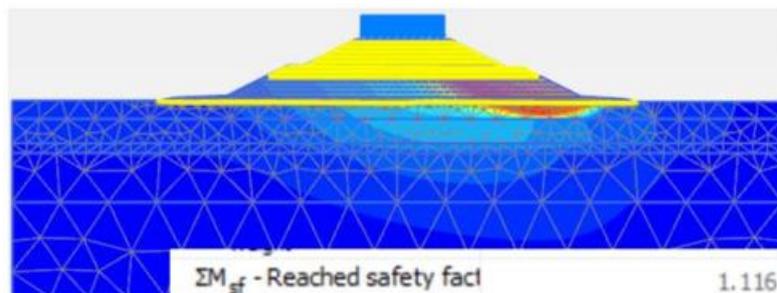
Gambar 11 Faktor keamanan *short term* STA 3+000 geotekstil 100 kN/m jarak 1 m = 1.53 > 1.5 (Ok)

Dengan penerapan perkuatan geotekstil berkekuatan 100 kN/m pada jarak 1 meter, hasil analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan dalam jangka pendek yang terkalkulasi mencapai 1.53. Penilaian ini menegaskan bahwa timbunan tanah di STA 3+000 memenuhi dan bahkan melebihi standar keamanan minimal yang ditetapkan sebesar 1.5.



Gambar 12 Faktor keamanan long term STA 3+000 geotekstil 100 kN/m jarak 1 m = 1.578
> 1.5 (Ok)

Dengan menerapkan perkuatan geotekstil berkekuatan 100 kN/m pada jarak 1 meter, hasil analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan jangka panjang yang terkalkulasi adalah sebesar 1.578. Penilaian ini menunjukkan bahwa timbunan tanah di STA 3+000 memiliki faktor keamanan yang jauh melampaui ambang batas minimal sebesar 1.5. Faktor keamanan yang tinggi dalam jangka panjang memberikan keyakinan bahwa perkuatan geotekstil secara efektif meningkatkan daya dukung dan stabilitas timbunan



Gambar 13 Faktor keamanan gempa STA 3+000 geotekstil 100 kN/m jarak 1 m = 1.116 >
1.1 (Ok)

Dengan penerapan perkuatan geotekstil berkekuatan 100 kN/m pada jarak 1 meter, hasil analisis yang dapat dilihat pada gambar 13 menunjukkan bahwa faktor keamanan gempa yang terkalkulasi mencapai angka 1.116. Penting untuk dicatat bahwa angka ini melebihi standar minimal yang telah ditetapkan, yaitu 1.1. Angka faktor keamanan yang telah melebihi

batas kriteria faktor keamanan menandakan bahwa timbunan tanah di STA 3+000 memiliki ketahanan yang memadai terhadap potensi gempa bumi. Faktor keamanan yang tinggi mencerminkan bahwa perkuatan geotekstil berhasil meningkatkan stabilitas dan daya dukung struktural timbunan, memberikan jaminan keamanan yang esensial terhadap potensi beban gempa yang mungkin terjadi.

2. Estimasi Biaya Timbunan Tanah

Setelah melakukan review desain untuk setiap usulan alternatif desain, maka selanjutnya perlu dilakukan estimasi biaya untuk setiap alternatif desain. Hal ini dilakukan untuk mengetahui rencana biaya yang diperlukan untuk setiap pekerjaan dan untuk mengetahui alternatif desain yang efisien dari segi biaya serta waktu. Pada Tabel 1 dapat dilihat perbandingan estimasi banyaknya volume dan biaya untuk setiap alternatif yang telah diusulkan.

Pada Tabel 1 menunjukkan perbandingan jumlah volume dan biaya untuk desain RTA dengan setiap desain alternatif yang diusulkan. Pada desain RTA sebelumnya jumlah volume untuk pembersihan tempat kerja adalah 4,225 m². Jumlah volume untuk Common Borrow Material adalah 62,478.49 m³ dan untuk Geotextile Separator adalah 4,875 m². Pada desain alternatif 1 dengan replacement soil sedalam 2.5 m, jumlah volume yang dibutuhkan untuk pekerjaan timbunan tanah jika dibandingkan dengan desain RTA sebelumnya, tidak diperlukan pembersihan tempat kerja namun terdapat tambahan volume pada pekerjaan galian biasa untuk dibuang sebanyak 10,562.50 m³, galian biasa untuk timbunan sebanyak 14,625 m³, common borrow material sebanyak 10,562.50 m³ dan 4,875 m² geotekstile stabilisator.

Sedangkan pada desain alternatif 2 dengan replacement soil sedalam 2 m, jumlah volume yang dibutuhkan adalah 8,450 m³ galian biasa untuk dibuang, 14,625 m³ galian biasa untuk timbunan, 68,815.99 m³ common borrow material, 4,875 m² geotekstil separator, 34,125 m² geotekstil stabilisator dan 2,112 m³ urugan material berbutir. Walaupun pada desain alternatif 2 ini tidak memerlukan pembersihan tempat kerja, namun banyak menambahkan volume baru pada item pekerjaan galian biasa untuk dibuang (waste), galian biasa untuk timbunan, geotekstil stabilisator dan geotekstil separator.

Tabel 1. Analisa Perbandingan Volume dan Biaya Penanganan Abutment 2 Simpang Susun

NO	URAIAN	SAT	HARGA SATUAN	PERBANDINGAN VOLUME PENANGANAN 65 M' ABT 2 SS			PERBANDINGAN BIAYA PENANGANAN 65 M' ABT 2 SS				
				DESAIN RTA	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	DESAIN RTA	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
					(Replace 2.5 m)	(Replace 2 m)	100 KN @1m'		(Replace 2.5 m)	(Replace 2 m)	100 KN @1m'
1	Pembersihan Tempat Kerja	m2	12,170.74	4,225.00		4,225.00	51,421,377	-	-	51,421,376.50	
2	Galian Biasa untuk Dibuang (Waste)	m3	45,205.85	-	10,562.50	8,450.00	-	477,486,790.63	381,989,432.50	-	
3	Galian Biasa untuk Timbunan	m3	72,083.85	-	14,625.00	14,625.00	-	1,054,226,306.25	1,054,226,306.25	-	
4	Common Borrow Material	m3	111,076.49	62,478.49	73,040.99	68,815.99	62,478.49	6,939,891,370	8,113,136,795.33	7,643,838,625.08	6,939,891,369.70
5	Geotextile Separator (Kelas 1)	m2	16,190.90	4,875.00	4,875.00	4,875.00	4,875.00	78,930,638	78,930,637.50	78,930,637.50	78,930,637.50
6	Geotextile Stabilisator (Kelas 1)	m2	21,157.40	-	4,875.00	34,125.00	22,327.83	-	103,142,325.00	721,996,275.00	472,398,830.44
7	Urugan Material Berbutir	m3	307,809.63	-		2,112.50	-	-	650,247,843.38	-	
8	Pemantauan Penurunan Vertikal	titik	44,922,768.00	-		1.00	-	-	-	44,922,768.00	
9	Pengukuran Percobaan	m'	664,477.88			30.00	-	-	-	19,934,336.40	
10	Biaya Perencana	ls	75,000,000.00			1.00	-	-	-	75,000,000.00	
	GRAND TOTAL						7,070,243,384	9,826,922,854.70	10,531,229,119.70	7,682,499,318.54	
	ESTIMASI WAKTU PELAKSANAAN TOTAL	BULAN		2.10	3.60	4.30	2.70				
	ESTIMASI WAKTU PELAKSANAAN THD SISA PEKERJAAN	BULAN		1.33	3.60	4.30	1.97				

Terakhir, desain alternatif 3 dengan menggunakan perkuatan geotekstil 100 kN untuk setiap 1 meter tinggi timbunan. Membandingkan dengan desain RTA sebelumnya, terdapat tambahan volume pada geotekstil stabilisator sebanyak 22,327.83 m², 1 titik pemantauan penurunan vertikal, 30 m pengukuran percobaan dan 1 ls biaya perencanaan. Sedangkan untuk item pekerjaan pembersihan tempat kerja, common borrow material dan geotekstil separator tetap dengan jumlah volume yang sama dengan desain RTA sebelumnya.

Dari segi waktu, desain RTA sebelumnya direncanakan selesai dalam 2 bulan. Sedangkan estimasi waktu selesai untuk alternatif 1 adalah 3 bulan 18 hari, durasi tersebut lebih lama 1 bulan 18 hari dibandingkan desain RTA sebelumnya. Estimasi waktu selesai untuk alternatif 2 adalah 4 bulan 9 hari, lebih lama 2 bulan 9 hari dibandingkan desain RTA dan dibutuhkan waktu 2 bulan 21 hari untuk alternatif 3, 21 hari lebih lama dibandingkan estimasi waktu desain RTA. Sehingga alternatif desain yang memiliki selisih waktu paling sedikit jika dibandingkan estimasi waktu penyelesaian desain RTA adalah alternatif 3.

Dengan adanya penambahan volume tersebut, maka biaya yang dibutuhkan juga akan bertambah. Dapat dilihat pada Tabel 1 yang menunjukkan perbandingan biaya yang diperlukan untuk desain RTA dengan biaya untuk setiap alternatif yang diusulkan. Desain RTA sebelumnya membutuhkan biaya sebesar Rp 7,070,243,384.00,- untuk pekerjaan timbunan tanah di STA 3+000 Simpang Susun. Jika dibandingkan dengan setiap desain alternatif, desain alternatif 1 dengan total biaya sebesar Rp 9,826,922,854.70,- memiliki selisih Rp 2,756,679,470.70,- lebih besar dari desain RTA. Desain alternatif 2 dengan total biaya sebesar Rp 10,531,299,199.70,- memiliki selisih terbesar yaitu Rp 3,461,055,815.70,- lebih besar dari desain RTA. Desain alternatif 3 dengan total biaya sebesar Rp 7,682,499,318.54 memiliki selisih terkecil yaitu Rp 616,255,934.54,- lebih besar dari desain RTA.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis, perhitungan dan pembahasan yang telah menjawab tujuan dari penelitian ini, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan perhitungan stabilitas, didapatkan 3 alternatif perbaikan yang memenuhi *safety factor* timbunan abutment 2 simpang susun Proyek Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket I. Alternatif 1, pembongkaran timbunan dan melakukan

replacement soil sedalam 2.5 m, 0.5 m granular, Geotekstil Stabilator, Geotekstil Separator. Alternatif 2, pembongkaran timbunan dan melakukan replacement soil sedalam 2.0 m, 0.5 m Granular, 3 lapis Geotekstil Stabilator di replacement, 7 lapis Geotekstil Stabilator pada badan timbunan, Geotekstil Separator. Alternatif 3, melanjutkan layer timbunan dengan menambahkan perkuatan geotekstil 100 kN per 1 meter.

2. Setelah dilakukan analisis dan perhitungan biaya untuk setiap alternatif desain, didapatkan hasil perhitungan biaya tertinggi pada desain alternatif 2 dengan total biaya sebesar Rp 10,531,229,119.70,- lalu kedua adalah desain alternatif 1 dengan total biaya Rp 9,826,922,854.70,- dan terendah pada desain alternatif 3 dengan total biaya sebesar Rp 7,682,499,318.54,-
3. Mengacu pada hasil *review* desain dan perhitungan biaya, dapat disimpulkan bahwa desain alternatif 3 adalah desain yang paling efisien dibandingkan dua desain alternatif lainnya. Karena tidak diperlukan pembongkaran timbunan tanah *existing*, sehingga biaya yang diperlukan tidak setinggi desain alternatif lainnya. Tidak hanya efisien dalam segi biaya, hal ini juga membuat desain alternatif 3 efisien dalam segi waktu yang hanya membutuhkan waktu sekitar 2 bulan untuk dilakukan penambahan perkuatan pada timbunan tanah.

KETERBATASAN

Penelitian ini tidak terlepas dari beberapa batasan yang dapat memengaruhi interpretasi hasil dan generalisasi temuan.

1. Keterbatasan Waktu

Keterbatasan waktu menjadi faktor yang signifikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Waktu yang terbatas membatasi kedalaman analisis serta jumlah data yang dapat dikumpulkan dan dianalisis. Keterbatasan waktu juga mempengaruhi kemampuan untuk melakukan pemantauan jangka panjang atau melibatkan partisipan dalam studi lebih mendalam.

2. Keterbatasan Data

Keterbatasan data juga merupakan aspek yang perlu diperhatikan. Meskipun upaya telah dilakukan untuk mengumpulkan data sekomprehensif mungkin, ada potensi

ketidaklengkapannya. Batasan ini dapat mempengaruhi validitas dan reliabilitas hasil penelitian.

Pemahaman dan interpretasi terhadap temuan harus dilakukan dengan kesadaran akan keterbatasan waktu dan data ini, dan penelitian selanjutnya dapat memperbaiki atau memperluas temuan ini dengan memperhitungkan faktor-faktor tersebut.

REFERENSI

- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2017). *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice* (4th ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design*. New York: McGraw-Hill.
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations*. Hoboken: Wiley.
- Choudhry, R. M., Li, H., & Zhou, Y. (2018). Critical success factors for prefabrication in construction: A systematic literature review. *Automation in Construction*, 86, 1-15.
- Das, B. M. (2013). *Principles of Geotechnical Engineering*. Boston: Cengage Learning.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2019). *Pedoman Teknis Penggantian Tanah dalam Konstruksi Jalan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2019). *Pedoman Teknis Penggunaan Geotekstil di Konstruksi Jalan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2019). *Pedoman Teknis Perencanaan Struktur Timbunan untuk Jalan dan Jembatan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Departemen Perhubungan Republik Indonesia. (2019). *Pedoman Umum Jalan Tol*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Giroud, J. P., & Noiray, L. (1981). "Geotextiles in Filtration and Drainage." *Journal of Geotechnical Engineering*, 107(6), 779–797.
- Haliburton, S. (2016). *Introduction to Cost-Benefit Analysis: Looking for Reasonable Shortcuts*. London: Palgrave Macmillan.
- International Road Federation. (2009). *Toll Road Development in Asia*. Geneva: International Road Federation.
- Kamaruddin. (2010). *Estimasi Biaya Proyek Konstruksi*. Jakarta: Erlangga.

Koerner, R. M. (2005). *Designing with Geosynthetics*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Road Association. (2016). *Project Governance of Toll Road Projects*. Paris: World Road Association.

Santosa, A. (2015). *Analisis Geoteknik dalam Perencanaan Jalan Tol*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Soemarno, J. (2008). *Perencanaan dan Desain Jalan Tol*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.

Sunaryo, A., et al. (2015). "Risk Management in Construction Project: A Knowledge-Based Approach." *Procedia Engineering*, 125, 584-591.