

STABILISASI LERENG DENGAN APLIKASI SOIL NAILING PADA AREA GALIAN DALAM DAN KEMIRINGAN CURAM (SLOPE STABILIZATION WITH SOIL NAILING APPLICATION IN DEEP EXCAVATION AND STEEP ELEVATION)

Andrew Nugraha Standyarto^{1,*}, Andika Yudha Prayitno², Dedi Prayitno¹

¹) Satuan Kerja Pelaksanaan Pembangunan IKN 2, Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Kalimantan Timur, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR, Balikpapan, Indonesia

²) P.T. Wahana Perencana Persada, Bandung, Indonesia

^{*}) e-mail: andrew.standyarto@pu.go.id

Diterima: 23 November 2023 ; direvisi: 11 Desember 2023; disetujui: 18 Desember 2023.

ABSTRAK

Tujuan studi ini adalah untuk mengetahui pengaruh penerapan soil nailing terhadap peningkatan kestabilan dan perkuatan lereng galian pada daerah kemiringan dalam dan lereng curam. Pengamatan dilakukan pada Jalan Tol IKN seksi 3A: Karangjoang - KKT Kariangau, bagian jalan tol yang diletakkan struktur berupa Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). Pada lokasi dilakukan penggalian dalam yang menempatkan menara SUTT sejarak 20 m dari lereng trase jalan. Relokasi menara tidak dapat dilakukan dan penanganan lereng harus dirancang untuk mencegah longsoran terjadi. Data kondisi tanah diambil dari lapangan pada 4 titik dengan menggunakan metode boring dan SPT. Analisis data menggunakan program pemodelan Finite Element Analysis (FEA) Plaxis 2D dan soil model Mohr-Coulomb untuk membandingkan dua kondisi, yaitu lereng galian tanpa perkuatan dan dengan konfigurasi perkuatan soil nailing. Dari analisis kestabilan lereng, desain galian 1 di depan SUTT dan desain 2 pada area peralihan memiliki Safety Factor (SF) > izin pada kondisi short term dan gempa pseudostatik namun mengalami kelongsoran pada kondisi long term dan pelapukan batu bara (lignit). Studi ini menunjukkan bahwa aplikasi soil nailing dengan diameter 10 cm, panjang 12 m dan konfigurasi pemasangan vertikal 12D dan horizontal 15D memenuhi SF izin kestabilan lereng sesuai dengan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.

Kata Kunci: stabilitas lereng, soil nailing, galian dalam, SUTT, pelapukan batubara (lignit)

ABSTRACT

The aim of study is to determine the effect of applying soil nailing to increase the stability and strengthening of excavation slopes on soil stratification in areas of deep dips and steep slopes. Observations were carried out on New Capital City Toll Road section 3A Karangjoang - KKT Kariangau, a division of the toll road where a structure in the form of a High Voltage Air Line (SUTT) is placed. Deep excavation was carried out at the location, which set the SUTT tower 20 m from the slope of the road route. Tower relocation cannot be carried out, and slope management must be designed to prevent landslides from occurring. Soil condition data was taken from the field at 4 points using boring and SPT methods. Data analysis used the Plaxis 2D Finite Element Analysis (FEA) modelling program and the Mohr-Coulomb soil model to compare two conditions, namely the excavation slope without reinforcement and with soil nailing reinforcement configuration. From the slope stability analysis, excavation design 1 in front of SUTT and design two at the transition have a Safety Factor (SF) > permit in short-term conditions and pseudo-static earthquakes but experience landslides in long-term conditions and coal (lignite) weathering. This study shows that applying soil nailing with a diameter of 10 cm, a length of 12 m and a 12D vertical and 15D horizontal installation configuration meets the SF permitting slope stability according to SNI 8460:2017 on Geotechnical Design Requirements.

Key words: slope resistance, soil nailing, deep excavation, high voltage tower, coal weathering (lignite)

PENDAHULUAN

Dalam memastikan keamanan stabilitas lereng, terdapat beberapa metode penanganan lereng seperti perubahan sudut kemiringan lereng, pembentukan *bench* lereng, penggunaan *soldier pile*, *secant pile* dan *soil nailing*. Perubahan sudut lereng dari 60° menjadi 90° dapat menurunkan SF sebesar 52,6% (Hanif, dkk., 2017) dan merupakan alternatif termurah, tetapi memerlukan luas area yang lebih besar sehingga tidak cocok untuk pekerjaan jalan tol yang memiliki ROW terbatas. Pembentukan trap dengan *bench* pada tengah tinggi lereng dapat memperbesar SF hingga 23,2%, tetapi memperlebar bidang longsor bawah lereng. *Soldier pile* dengan menggunakan jenis pondasi *bored pile* dapat menambah SF lereng hingga 16%, tetapi dengan biaya yang relatif lebih mahal dan kebutuhan area kerja yang besar untuk alat *bored pile* (Arjaya & Pratiwi, 2013). Perkuatan lereng dengan *bored pile* dan *cutting* tanah juga dapat meningkatkan hingga 10,6% dari hanya perkuatan *bored pile* (Mudhoffar & Zaki, 2022)

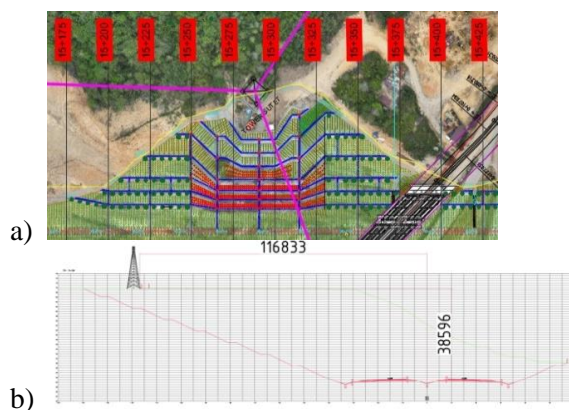
Soil nailing merupakan salah satu metode perkuatan yang lebih ekonomis, cepat, tidak memerlukan alat besar serta area kerja yang luas dan bertujuan untuk memberi kestabilan pada lereng dengan sudut kemiringan 10° hingga 20° dari bidang horizontal (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022). *Soil nailing* juga terbukti mampu menahan tanah dari kemungkinan longsor pada kondisi ekstrem air tanah jenuh (Riogilang, dkk, 2014). Beberapa faktor mempengaruhi nilai SF *Soil nailing* seperti perbandingan lurus SF dengan sudut inklinasi *nail bar* dan panjang *nail bar* (Imbar, dkk, 2019) serta jumlah *nail bar* dengan jumlah barisnya (Budiharjo, dkk, 2020). Komponen *soil nailing* terdiri atas kepala *nail bar* yang tersambung dengan penutup muka (*facing*), perantara pelat penumpu (*bearing plate*), dan mur pengunci (*hex nut*) yang berfungsi agar tekanan tanah dapat ditransfer ke *nail bar*. *Nail bar* atau *steel bar* dapat berupa baja tulangan diameter minimal 25 mm dengan kuat tarik izin 90% kuat leleh minimum. *Nail bar* terproteksi dari potensi korosi dalam tanah berupa cat epoksi atau lapisan galvanis. Detail komponen *soil nailing* ditampilkan pada Gambar 1.



Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022

Gambar 1. Detail Komponen *Soil Nailing*

Untuk menjamin konektivitas dan mobilitas barang dan orang, pada Tahun Anggaran (TA) 2022--2024 beberapa paket pembangunan jalan tol dibangun untuk mencapai Ibu Kota Negara (IKN) dari Kota Balikpapan, termasuk seksi 3A Karangjoang - KKT Kariangau. Dalam menentukan trase jalan tol baru sering kali harus melalui struktur eksisting berupa utilitas Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) sehingga harus dilakukan penggalian yang dalam dan menempatkan SUTT tidak jauh dari lereng trase jalan dengan kemiringan curam. Pada trase jalan tol IKN 3A, khususnya pada STA 15+250 hingga 15+325, terdapat Tower SUTT 150 kV dengan posisi kaki terletak sekitar 116,8 m dari *Centreline* (CL) jalan tol dan dengan beda elevasi 38,6 m sesuai dengan Gambar 2.



Sumber: DED Paket Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau, 2023

Gambar 2. a) Tampak Atas dan b) Melintang Posisi SUTT terhadap CL Jalan Tol IKN 3A

Sesuai dengan survei lapangan bersama pemilik utilitas PT PLN (Persero) dan tim proyek, jarak minimal kaki SUTT adalah 20 m dari lereng trase jalan. Untuk memasok listrik untuk wilayah - wilayah di Pulau Kalimantan, relokasi menara tidak dapat dilakukan dan pelindungan lereng harus dirancang untuk mencegah longsor terjadi ke badan jalan tol yang dapat membahayakan pengguna jalan tol. Pengujian kestabilan lereng galian eksisting dan penanganan berupa perkuatan lereng atau sejenisnya dapat memastikan integritas lereng struktur SUTT dan jalan tol di bawahnya.

HIPOTESIS

Kemiringan lereng yang cukup tegak karena keterbatasan lebar ROW jalan tol dan galian dalam 38,6 m akan berpotensi menghasilkan SF yang kurang dari persyaratan. Perkuatan *soil nailing* dan *shotcrete* sebagai fasad dan stabilisasi tanah pada permukaan lereng dapat diterapkan untuk meningkatkan SF izin kestabilan lereng sesuai dengan ketentuan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.

METODOLOGI

Lokasi dan waktu penelitian adalah pada STA 15+250 - 15+325 di Paket Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau, Kota Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur pada tahun 2023 dengan pengambilan data tanah langsung ke lapangan sebanyak 4 titik menggunakan metode *boring* dan SPT serta analisis data menggunakan program pemodelan *Finite Element Analysis* (FEA) Plaxis 2D dan *soil model* Mohr-Coulomb karena simplisitas, umum digunakan, serta parameter mudah ditentukan. Analisis akan membandingkan 2 kondisi, yaitu lereng galian tanpa perkuatan dan dengan konfigurasi perkuatan *soil nailing*.

Investigasi Tanah

Investigasi tanah dilakukan pada lokasi galian untuk mengetahui secara pasti karakteristik tanah setempat dan memeriksa kestabilan lereng galian eksisting tanpa perkuatan. Investigasi tanah dilakukan dengan menggunakan metode *boring* dan *Standard Penetration Test* (SPT) untuk penentuan jenis lapisan dan stratigrafi tanah. Selain data tanah

lapangan, uji laboratorium seperti Kadar Air (*Water Content*), Batas Cair (LL), Batas Plastik (PL), Indeks Plastisitas (PI) dan Berat Volume Tanah juga dilakukan untuk menentukan parameter desain lereng.

Penanganan Lereng

Penambahan panjang *nail bar* juga berbanding lurus dengan penambahan SF lereng. *Facing* dapat diaplikasikan menggunakan *shotcrete* atau beton kisi. Setelah *soil nailing* terpasang dan *grouting* mencapai kuat tekan rencana, perlu dilakukan validasi kuat tarik dengan *pullout test* menggunakan *jack stressing*. *Soil nailing* dapat meningkatkan *Safety Factor* (SF) lereng terutama pada jenis tanah lempung pasir berdebu (Prabowo, dkk, 2019). Kapasitas cabut *soil nailing* dihitung dengan persamaan (1) berikut:

$$R_{po} = \pi C_a D L_p \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

- R_{po} = daya dukung tarik ultimit (ton)
- C_a = tahanan friksi antara permukaan *grouting* dan tanah. $0,5 C_u$ untuk tanah lempung dan $\sigma'_v K_s \tan \phi_a$ untuk tanah pasir.
- C_u = kohesi atau *undrained shear strength*
- σ'_v = *overburden stress* efektif pada *soil nailing* (Pa)
- K_s = koefisien tekanan tanah = 0,7
- ϕ_a = sudut geser tanah dengan *grout* = 0,8 sudut geser dalam efektif tanah pasir
- D = diameter lubang *grout* (m)
- L_p = panjang *nail bar* tertanam (m)

Analisis Pembebanan

Dalam analisis kestabilan lereng, kondisi beban yang diperhitungkan untuk memodelkan kondisi lereng aktual seperti di lapangan meliputi (a) beban lalu lintas: 15 kPa pada jalan utama; (b) beban kerja alat: 10 kPa pada tepi lereng untuk pemodelan alat berat seperti excavator saat proses penggalian dan pembentukan lereng; dan beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2019. Percepatan gempa untuk pemodelan kondisi gempa menggunakan periode ulang 500 tahun dengan persamaan (2):

$$PSA = PGA \times F_{PGA} \dots \dots \dots (2)$$

dengan:

PSA = *Peak Surface Acceleration*

PGA = *Peak Ground Acceleration* dari lini.binamarga.pu.go.id sebesar 0,032g untuk area Tol IKN

F_{PGA} = Koefisien Situs berdasarkan tabel kelas situs tanah SNI 8460:2017 yaitu tanah lunak sebesar 2,5 untuk area Tol IKN

$$PSA = 0,032g \times 2,5 = 0,08 \text{ g}$$

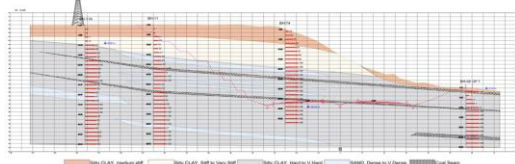
Safety Factor (SF) Izin

Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, acuan SF untuk desain dan analisis stabilitas lereng serta timbunan minimum adalah sebagai berikut: (a) *short term* saat penambahan tinggi timbunan: 1.20; (b) *short term* akhir masa konstruksi: 1.30; (c) *long term (drained)*: 1.50; (d) kondisi gempa pseudostatik: 1.10, dan (e) kondisi ekstrem pelapukan *interface* batu bara dan lempung 1.00. Desain perkuatan lereng dengan *soil nailing* menggunakan minimum SF sebagai berikut: (a) SF terhadap cabut (*pull out*) : 2.0 untuk kondisi servis; (b) SF terhadap cabut (*pull out*) : 1.5 untuk kondisi gempa, (c) SF terhadap putus tarik : 1.8 untuk kondisi servis; dan (d) SF terhadap putus tarik : 1.3 untuk kondisi gempa. Risiko cabut atau *pull out* diperiksa terhadap daya dukung friksi tanah dengan material *grouting* sementara risiko putus tarik terhadap kapasitas tarik material dari *nail bar*.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil Investigasi Tanah

Pada sekitar area SUTT, terdapat 4 titik borehole (BH) yang diambil, yaitu BH-11A, BH-11, BH-T4 dan BH-04 milik struktur jembatan *Overpass* (OP) 1 di dekat area galian. Profil tanah melintang atau stratigrafi galian ditampilkan pada Gambar 3.



Sumber: DED Paket Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau, 2023

Gambar 3. Profil Tanah di Lokasi Lereng Galian SUTT

Secara umum, jenis tanah setempat galian adalah lempung lanauan (*silty clay*) dengan nilai N-SPT yang semakin tinggi seiring bertambahnya kedalaman. Kondisi muka air tanah (MAT) cukup dalam sekitar 9 m hingga 30 m sesuai dengan data Borlog di lapangan. Pemodelan menggunakan MAT -9 m pada kondisi *short term* dan kondisi ekstrem MAT naik hingga ke permukaan. Pada lapisan tanah juga ditemukan batu bara muda (lignit) dengan nilai kalori yang kecil yang berpotensi mengalami pelapukan dan memperkecil kestabilan lereng.

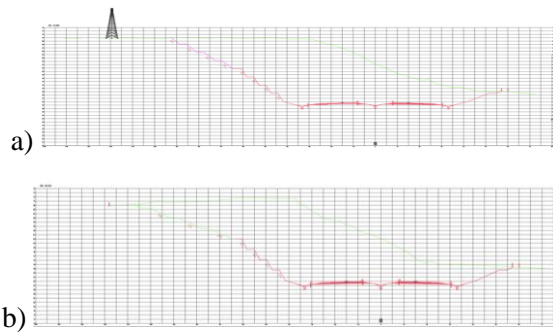
Interpretasi parameter tanah untuk desain dan analisis stabilitas lereng galian pada area SUTT STA 15+290 menggunakan kuat geser *drained* pada tanah lempung (*clay*) sesuai dengan formula Lower Bound untuk ϕ' dan 10% Cu untuk C' sebagai berikut pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Tanah Desain lereng Galian SUTT

Layer	Soil Type	N SPT Avg	Cu (kPa)	ϕ (°)	Cu (kPa)	ϕ (°)	γ sat (kN/m ³)	γ unsat (kN/m ³)
<i>Undrained</i>								
1	M. Stiff Clay	7	31,5		3,15	20	20	16,5
2	M. Stiff Clay	15	75		7,5	22	20,5	17,5
3	V. Hard Clay	45	225		22,5	23	22	20
<i>Drained</i>								
1	Coal	>60	25	45			22	20
2	Dense Sand	36	2	41			21	18

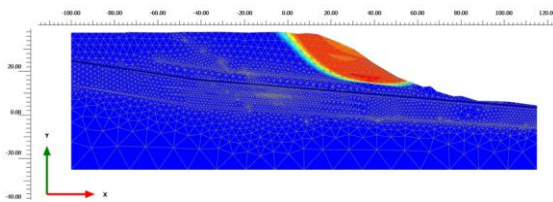
Hasil Analisis Lereng Tanpa Perkuatan

Untuk simplifikasi, terdapat 2 tipikal model lereng galian, yaitu tipikal 1 pada STA 15+270 - 15+310 dengan lokasi tepat di depan SUTT dan variasi kemiringan lereng 2:1 serta 1:1 sementara tipikal 2 pada area peralihan STA 15+250 - 15+270 dan STA 15+310 - 15+325 dan variasi kemiringan 2:1 serta 1:2 seperti terlihat pada Gambar 4.

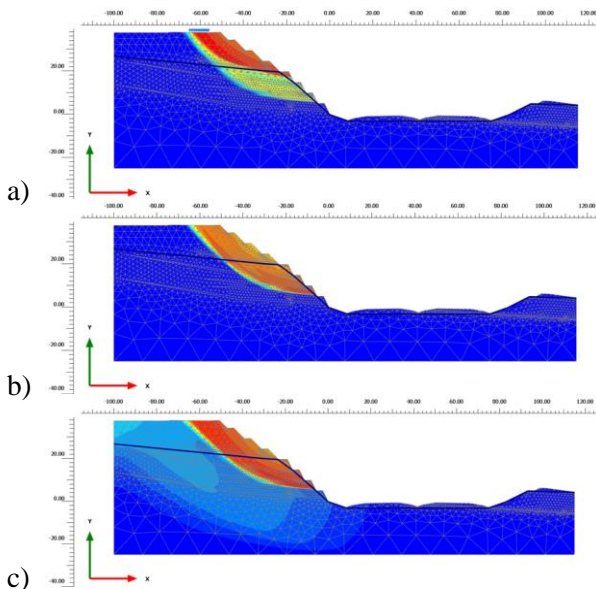


Gambar 4. Tipikal Desain Lereng Galian: a) Tipe 1 (STA 15+270 - 15+310) di depan SUTT b) Tipe 2 pada Zona Peralihan (STA 15+250 - 15+270 dan STA 15+310 - 15+325)

Dari pemodelan Plaxis 2D yang telah dilakukan, diperoleh kondisi SF kondisi eksisting pada Gambar 5 di bawah ini dan SF pembentukan lereng tanpa perkuatan kondisi yang bervariasi untuk Tipikal Desain Lereng Galian 1 pada Gambar 6 dan Tipikal Desain Lereng Galian 2 pada Gambar 7 sebagai berikut.

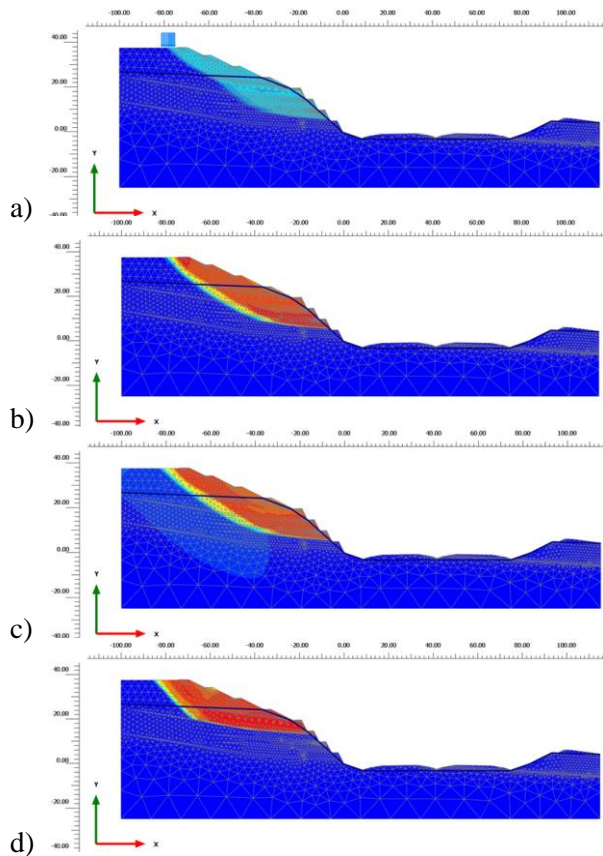


Gambar 5. Bidang Longsor Kondisi Eksisting SF = 1,336 > 1



Gambar 6. Bidang Longsor Tipikal 1 Kondisi: a) *Undrained (Short Term)* = 1,664 > SF Izin

1,30; b) *Drained (Long Term)* = 1,261 < SF Izin 1,50; c) Gempa Pseudostatik (*Long Term*) = 1,138 > SF Izin 1,10



Gambar 7. Bidang Longsor Tipikal 2 Kondisi: a) *Undrained (Short Term)* = 1,949 > SF Izin 1,30; b) *Drained (Long Term)* = 1,449 < SF Izin 1,50; c) Gempa Pseudostatik (*Long Term*) = 1,290 > SF Izin 1,10; d) *Drained* dengan Pelapukan pada *interface* tanah lempung dan batu bara < 1

Rekapitulasi hasil setiap kondisi stabilitas lereng eksisting tanpa perkuatan ditampilkan berikut pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi SF Analisis Stabilitas Lereng Galian Tanpa Perkuatan

Desain Geometri	Kondisi	Safety Factor (SF)			Hasil
		Plaxis	Izin	Selisih	
Eksisting	Sebelum Penggalian	1,336	1,000	0,336	OK
Tipikal 1	<i>Undrained (Short Term)</i>	1,664	1,300	0,364	OK
	<i>Drained (Long Term)</i>	1,261	1,500	-0,239	NOT OK
	Gempa Pseudostatik	1,138	1,100	0,038	OK
Tipikal 2	<i>Undrained (Short Term)</i>	1,949	1,300	0,649	OK
	<i>Drained (long Term)</i>	1,449	1,500	-0,051	NOT OK
	Gempa Pseudostatik	1,290	1,100	0,190	OK
	Pelapukan pada interface tanah lempung dan batu bara	1,000	1,000	0,000	OK

Dari tabel terlihat bahwa nilai SF untuk desain tipikal 1 dan 2 pada kondisi *undrained (short term)* melebihi 30% - 60% dari SF izin dan gempa pseudostatik melebihi 3% - 19% SF izin yang disyaratkan pada SNI 8460:2017 namun untuk kondisi *drained (long term)* pembentukan bench lereng saja tidak memenuhi SF jangka panjang dengan selisih 5% - 24%. Pada kondisi ekstrem, kelongsoran terjadi pada saat terjadi pelapukan batu bara muda atau lignit yang menggunakan kuat geser residual.

Hasil Analisis Lereng dengan Soil Nailing

Pada desain galian tanpa perkuatan, terdapat 2 desain tipikal 1, yaitu di depan SUTT dan tipikal 2 pada area peralihan sebelum dan sesudah SUTT. Karena SF tanpa perkuatan untuk kondisi *long term* dan terjadi pelapukan batu bara tidak memenuhi izin, *soil nailing* berdiameter 10 cm dan panjang 12 m untuk menghindari *waste* tulangan dipasang pada kedalaman 15 - 30 m dari permukaan tanah sesuai dengan lokasi dan bidang longsor analisis tanpa perkuatan dengan N-SPT rerata 40 dan jenis tanah *clay* sehingga daya dukung

soil nailing dengan persamaan (1) sebagai berikut:

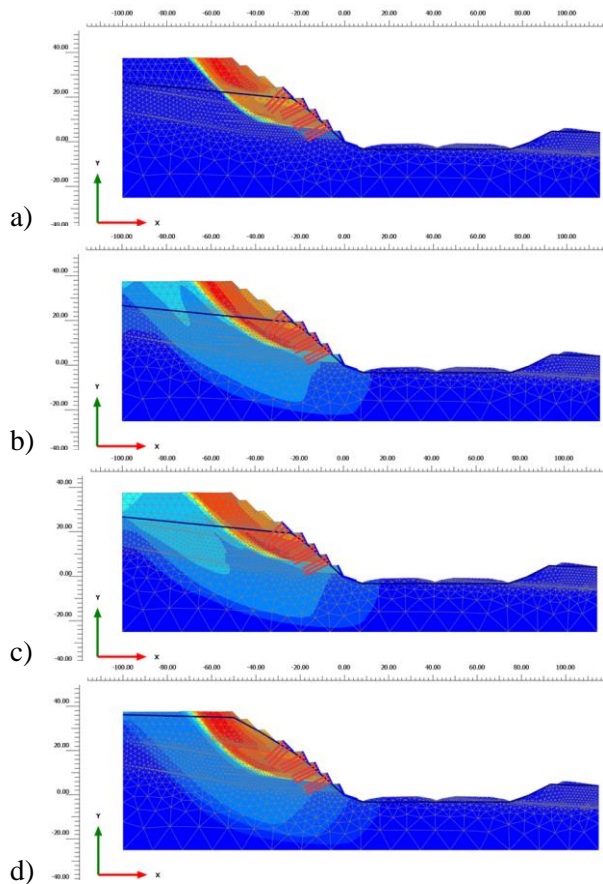
$$R_{po} = \pi C_a D L_p = \pi \times 0,5 \times 5 \times 40 \times 0,1 \times 11 = 345,4 \text{ kN} = 34,5 \text{ ton.}$$

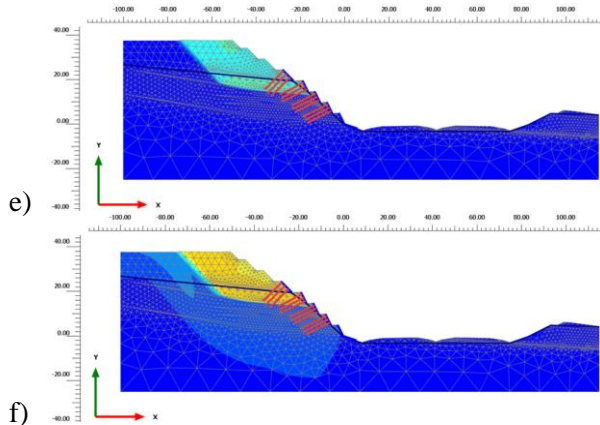
Dengan SF 2, $R_{po \text{ izin}} = R_{po} / SF = 34,5 / 2 = 17,25$ ton untuk lebih konservatif danantisipasi variasi jenis tanah menjadi 15 ton.

Dengan SF 1,8, $T_{leleh} = 150 \times 1,8 / 0,9 = 300$ kN sehingga dipilih diameter *nail bar* baja tulangan BJTS 420A = 32 mm dan

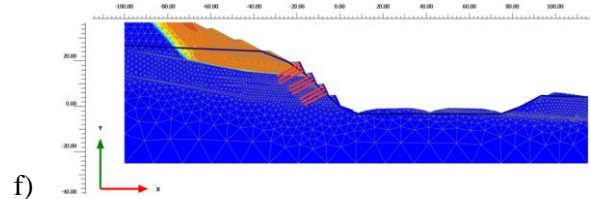
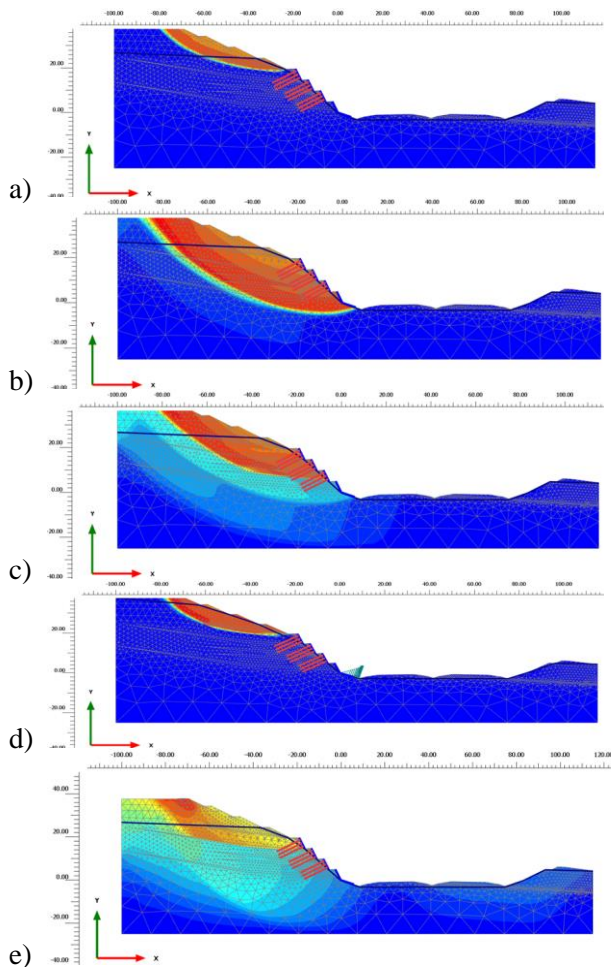
$$T_{leleh} = 344 \text{ kN.}$$

Soil nailing diikat pada permukaan lereng dengan menggunakan material *grouting* beton $f_c' 21$ MPa, *wire mesh* dan *end plate* pada bagian ujung *nail bar*. *Trial & error* pemodelan konfigurasi lokasi dan spasi anta-*soil nailing* sebesar $15D = 150$ cm dilakukan pada arah vertikal dan $12D = 120$ cm pada arah horizontal. Pemodelan Plaxis 2D lereng dengan perkuatan *soil nailing* pada tiap desain ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9 berikut.





Gambar 8. Bidang Longsor Tipikal 1 Kondisi: a) *Undrained (Short Term)* = 1,938 > SF Izin 1,30; b) *Drained (Long Term)* = 1,519 < SF Izin 1,50; c) Gempa Pseudostatik (*Long Term*) = 1,386 > SF Izin 1,10; d) Ekstrem Lereng Jenuh = 1,114 > 1; e) Ekstrem (parameter residual $\phi' = 14^\circ$ dan $C' = 2$ kPa) = 1,196 > 1; f) Ekstrem (parameter residual $\phi' = 12^\circ$ dan $C' = 1$ kPa) = 1,087 > 1



Gambar 9. Bidang Longsor Tipikal 2 Kondisi: a) *Undrained (Short Term)* = 2,206 > SF Izin 1,30; b) *Drained (Long Term)* = 1,611 < SF Izin 1,50; c) Gempa Pseudostatik (*Long Term*) = 1,497 > SF Izin 1,10; d) Ekstrem Lereng Jenuh = 1,397 > 1; e) Ekstrem (parameter residual $\phi' = 14^\circ$ dan $C' = 2$ kPa) = 1,242 > 1; f) Ekstrem (parameter residual $\phi' = 12^\circ$ dan $C' = 1$ kPa) = 1,143 > 1

Tabel 3. Rekapitulasi SF Analisis Stabilitas Lereng Galian dengan *Soil Nailing*

Desain Geometri	Kondisi	Safety Factor (SF)			Hasil
		Plaxis	Izin	Selisih	
Tipikal 1	<i>Undrained (Short Term)</i>	1,938	1,300	0,638	OK
	<i>Drained (Long Term)</i>	1,519	1,500	0,019	OK
	Gempa Pseudostatik	1,386	1,100	0,286	OK
	Lereng Jenuh	1,114	1,000	0,114	OK
	Interface $\phi' = 14$ dan $C' = 2$ kPa	1,196	1,000	0,196	OK
	Interface $\phi' = 12$ dan $C' = 1$ kPa	1,087	1,000	0,087	OK
Tipikal 2	<i>Undrained (Short Term)</i>	2,206	1,300	0,906	OK
	<i>Drained (long Term)</i>	1,611	1,500	0,111	OK
	Gempa Pseudostatik	1,497	1,100	0,397	OK
	Lereng Jenuh	1,397	1,000	0,397	OK
	Interface $\phi' = 14$ dan $C' = 2$ kPa	1,242	1,000	0,242	OK
	Interface $\phi' = 12$ dan $C' = 1$ kPa	1,143	1,000	0,143	OK

Dari tabel terlihat bahwa SF semua kondisi telah memenuhi SF izin dengan selisih 2% pada kondisi *drained long term* tipikal 1, bahkan

hingga tertinggi sebesar 90% pada kondisi undrained *short term* tipikal 2. Aplikasi *soil nailing* relatif dapat mereduksi bidang longsor lereng dengan pengurangan terbesar pada kondisi *undrained* dan ekstrem. Konfigurasi *soil nailing* pada bagian atas tidak melewati bidang longsor karena sesuai dengan hasil *trial & error* agar bidang longsor tidak berpindah ke atas dan menyebabkan reduksi SF. Pada 3 pemodelan kondisi ekstrem pun *soil nailing* dapat tetap menjaga kestabilan lereng SUTT.

Hasil Pengecekan Gaya Tarik Soil Nailing

Pengecekan gaya tarik pada *soil nailing* hanya dilakukan pada kondisi *long term* dan gempa yang sebelumnya mengalami kegagalan sebagai berikut pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Gaya Tarik *Nail Bar* pada Kondisi *Long Term* dan Gempa Pseudostatik Desain Tipikal 1

Elemen	Node	X (m)	Y (m)	Gaya Tarik (kN)	
				Long Term	Gempa
1-1	50122	-35,940	15,715	71,652	97,530
1-1	55284	-27,579	24,076	71,652	97,530
2-2	47288	-34,564	14,091	105,206	114,472
2-2	54728	-26,079	22,576	105,206	114,472
3-3	46452	-33,064	12,591	101,397	102,063
3-3	53932	-24,579	21,076	101,397	102,063
4-4	47220	-29,233	13,273	82,449	84,351
4-4	49114	-18,500	18,640	82,449	84,351
5-5	44702	-28,483	11,773	52,032	43,298
5-5	46439	-17,750	17,140	52,032	43,298
6-6	41905	-27,733	10,273	61,263	62,504
6-6	45690	-13,000	15,640	61,263	62,504
7-7	37960	-22,983	8,393	150,000	150,000
7-7	39908	-13,000	13,760	150,000	150,000
8-8	33986	-22,983	6,893	137,669	137,669
8-8	35420	-12,250	12,260	137,669	137,669
9-9	33046	-22,233	5,393	150,000	150,000
9-9	33610	-11,500	10,760	150,000	150,000
10-10	25644	-18,233	3,513	150,000	150,000
10-10	28190	-7,500	8,880	150,000	150,000
11-11	23674	-17,483	2,013	150,000	150,000
11-11	24416	-6,750	7,380	150,000	150,000
12-12	23046	-16,733	0,513	150,000	150,000
12-12	21044	-6,000	5,880	150,000	150,000

Tabel 5. Gaya Tarik *Nail Bar* pada Kondisi *Long Term* dan Gempa Pseudostatik Desain Tipikal 2

Elemen	Node	X (m)	Y (m)	Gaya Tarik (kN)	
				Long Term	Gempa
1-1	48318	-29,233	13,273	35,512	36,279
1-1	50264	-18,500	18,640	35,512	36,279
2-2	46630	-28,483	11,773	21,724	19,390
2-2	48702	-17,750	17,140	21,724	19,390
3-3	44202	-27,733	10,273	49,916	47,222
3-3	47682	-13,000	15,640	49,916	47,222
4-4	40630	-22,983	8,393	150,000	150,000
4-4	42064	-13,000	13,760	150,000	150,000
5-5	38256	-22,983	6,893	89,383	88,969
5-5	37370	-12,250	12,260	89,383	88,969
6-6	36476	-22,233	5,393	150,000	150,000
6-6	35668	-11,500	10,760	150,000	150,000
7-7	28410	-18,233	3,513	150,000	150,000
7-7	28850	-7,500	8,880	150,000	150,000
8-8	25994	-17,483	2,013	150,000	150,000
8-8	24728	-6,750	7,380	150,000	150,000
9-9	24542	-16,733	0,513	150,000	150,000
9-9	21076	-6,000	5,880	150,000	150,000

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5, gaya tarik yang terjadi pada *nail bar* maksimal hanya 150 ton pada tiap kondisi sehingga *nail bar* dengan diameter 32 mm dan kuat leleh 344 kN aman untuk digunakan.

PEMBAHASAN

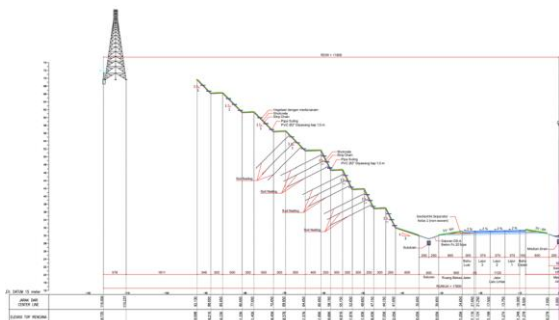
Dari analisis yang telah dilakukan, *soil nailing* terbukti meningkatkan SF semua kondisi lereng dan menstabilkan lereng kondisi *long term drained* dan pelapukan batu bara yang sebelumnya mengalami kelongsoran pada desain tanpa perkuatan. Daya dukung *soil nailing* dengan *nail bar* 32 mm pun cukup untuk menahan gaya tarik aktual yang mungkin terjadi.

Rekapitulasi semua SF sebagai berikut pada Tabel 6.

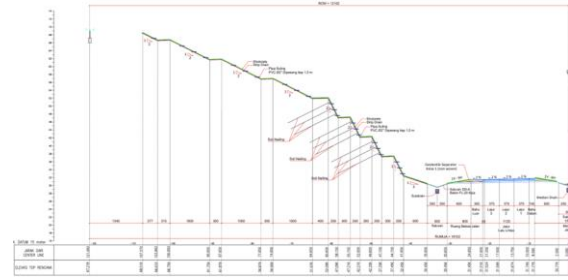
Tabel 6. Rekapitulasi SF Analisis Stabilitas Lereng Galian Tanpa Perkuatan dan Dengan *Soil Nailing*

Desain Geometri	Kondisi	Safety Factor (SF)		
		Tanpa Perkuatan	Soil Nailing	Peningkatan
Tipikal 1	Undrained (Short Term)	1,664	1,938	0,274
	Drained (Long Term)	1,261	1,519	0,258
	Gempa Pseudostatik	1,138	1,386	0,248
Tipikal 2	Undrained (Short Term)	1,949	2,206	0,257
	Drained (long Term)	1,449	1,611	0,162
	Gempa Pseudostatik	1,290	1,497	0,207
Maksimal		1,949	2,206	0,274
Minimal		1,138	1,386	0,162

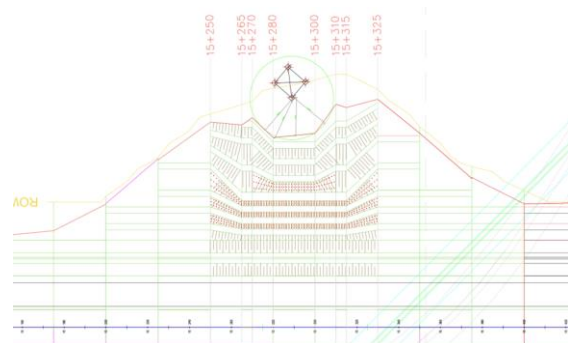
Dari rekapitulasi di atas, terdapat peningkatan SF yang cukup signifikan dari yang terkecil 16,2% pada kondisi *drained long term* tipikal 2 dan terbesar 27,4% pada kondisi *undrained short term* tipikal 1. Desain konfigurasi perkuatan *soil nailing* kemudian dituangkan dalam Gambar 10 s.d. Gambar 12.



Gambar 10. Potongan Melintang Desain Tipikal 1 dengan *Soil Nailing* pada Lereng SUTT STA 15+250 - 15+325



Gambar 11. Potongan Melintang Desain Tipikal 2 dengan *Soil Nailing* pada Lereng SUTT STA 15+250 - 15+325



Gambar 12. Denah *Soil Nailing* pada Lereng SUTT STA 15+250 - 15+325

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Stabilitas lereng galian pada kaki SUTT 150 kV STA 15+250 - 15+325 Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau tanpa penanganan menjadi tidak aman pada kondisi *long term* dan pelapukan batu bara muda. Aplikasi *soil nailing* diameter 10 cm, *nail bar* 32 mm, panjang 12 m serta spasi pemasangan vertikal 15D dan horizontal 12D meningkatkan SF di atas kebutuhan pada semua kondisi. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan *soil nailing* efektif dalam stabilisasi galian dalam dengan kemiringan lereng yang curam.

Saran

Sebelum *soil nailing* diterapkan, *trial* perlu dilakukan beberapa titik pada lereng dengan menggunakan variasi diameter tulangan dan panjang *nail bar*. Validasi kuat tarik *Soil nailing* juga perlu dilakukan dengan menggunakan gaya *pull out test* 150% dari R_{po} izin untuk memastikan desain dapat diaplikasikan dan menjaga keamanan utilitas ataupun infrastruktur, contohnya SUTT, yang diletakkan pada puncak lereng.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai penghargaan penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada Satuan Kerja Pelaksanaan Pembangunan IKN 2, BBPKN Kalimantan Timur, Ditjen Bina Marga, Kementerian PUPR, dan Tim proyek Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau, Utama - Adhi - Abipraya, KSO serta konsultan PT Wahana Perencana Persada (WPP) atas data dan diskusi hingga karya tulis ini disusun.

DAFTAR PUSTAKA

- Arjaya, H. S. dan Pratiwi, E. B. "Perkuatan Lereng pada Menara Sutt Sta 19 +255 Jalan Tol Semarang – Solo Seksi Tinalun – Lemah Ireng". 2013. *Jurnal Karya Teknik Sipil* Volume 2 No. 2 Tahun 2013, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. Standar Nasional Indonesia (SNI) 8460 Tahun 2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.
- Budiharjo, L. A. S., Mahardika, D. C., Whayuni, M., Karlinasari, R. 2020. "Pengaruh Jumlah Pemasangan *Soil Nailing* Terhadap Peningkatan Faktor Keamanan Lereng". *G-SMART Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang*, Volume 4, Nomor 2, Desember 2020.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2022. Spesifikasi Khusus Interim *Soil Nailing* SKh-2.7.19. Kementerian PUPR.
- Hanif, F., Setiawan B. dan H. I. Dananjaya, H. 2017. "Analisis Perkuatan *Soil Nailing* Sebagai Metode Perbaikan Stabilitas Lereng". *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*/Juni 2017/484 - 490.
- Imbar, E. R. B., Mandagi, A. T., Rondonuwu, S. G. 2019. "Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing* Menggunakan Program Slope/W dan Geostructural". *Jurnal Tekno*, vol. 17, no 72, 2019.
- Mudhoffar, M. F. dan Zaki, M. 2022. "Analisis Stabilitas Lereng pada Tanah Clay Shale dengan Perkuatan *Bored Pile* dan *Cutting* Tanah. Prosiding Seminar Intelektual Muda #8, Metode Mitigasi, Keselamatan Proyek dan Kenyamanan Lingkungan Dalam Upaya Peningkatan Kualitas Hidup, 18 Agustus 2022, hal: 165-174.
- Prabowo, I., Jatmika B. dan Paikun. 2019. "Analisis Perkuatan Tanah dengan Metode *Soil Nailing* pada Tanah Lereng (*Analysis of Soil Strength Using Soil Nailing Methods on Slope Soil*)". *Jurnal J-Tesil: Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*.
- PT Wahana Perencana Persada. 2023. Laporan Desain Perkuatan Lereng Galian Area SUTET STA 15+250 S/D STA 325 Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau.
- Riogilang, H., Pontororing, C., Mekel, A. 2014. "*Soil Nailing* dan Anchor sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah untuk Potensi Longsor di Sta 7+250 Ruas Jalan Manado-Tomohon. *Jurnal Ilmiah Media Engineering* Vol.4 No.2, September 2014 (119-126).
- Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawssan Jalan Nasional Provinsi Kalimantan Timur. 2022. Detailed Engineering Design (DED) Jalan Tol IKN Segmen Karangjoang - KKT Kariangau.*