STUDI PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH DENGAN SOIL NAILING UNTUK PERBAIKAN LONGSOR PADA JALAN DESA SUMBERTANGKIL KECAMATAN TIRTOYUDO KABUPATEN MALANG

Ridho Kurnia Ananda[1], Sudirman Indra, dan Eri Andrian Yudianto[3]
[123)] *Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: kurniaridho72@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to design a *soil nailing* retaining wall in clayey silt (CL) soil conditions located in Sumbertangkil Village, Tirtoyudo District, Malang Regency. Soil parameters were obtained from laboratory and field tests, including water content, Atterberg limits, unit weight, sieve analysis, and direct shear tests. The design considers a wall height of 7 meters with a slope angle of 60°, concrete strength f'c 25 MPa, and reinforcement steel fy 420 MPa. Stability analysis was performed for sliding safety factor and bearing capacity according to SNI 8460:2017 and SNI 1726:2019. The design results show that soil nails with a length of 6 meters, horizontal spacing of 1.5 meters, vertical spacing of 1.5 meters, and installation angle of 10° can improve the safety factor to meet the minimum standard. The design also includes a drainage system to reduce pore water pressure and enhance slope stability.

Keywords: soil nailing, retaining wall, slope stability, safety factor

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan konstruksi dinding penahan tanah tipe *soil nailing* pada lokasi dengan kondisi tanah lempung berlanau (CL) di Desa Sumbertangkil, Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang. Data parameter tanah diperoleh dari hasil uji laboratorium dan lapangan, meliputi uji kadar air, batas Atterberg, berat isi, analisis saringan, dan uji geser langsung. Perencanaan mempertimbangkan tinggi dinding 7 meter dengan sudut kemiringan lereng 60°, mutu beton f'c 25 MPa, dan baja tulangan fy 420 MPa. Analisis stabilitas dilakukan terhadap faktor keamanan geser dan daya dukung tanah berdasarkan SNI 8460:2017 dan SNI 1726:2019. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa *soil nailing* dengan panjang nail 6 meter, jarak horizontal 1,5 meter, jarak vertikal 1,5 meter, dan sudut pemasangan 10° dapat meningkatkan faktor keamanan hingga memenuhi standar minimum. Perencanaan ini juga dilengkapi sistem drainase untuk mengurangi tekanan air pori dan meningkatkan stabilitas lereng.

Kata kunci: soil nailing, dinding penahan tanah, faktor keamanan.

1. PENDAHULUAN

Kondisi geoteknik di wilayah Kecamatan Tirtoyudo, khususnya Desa Sumbertangkil, menunjukkan potensi ketidakstabilan lereng akibat jenis tanah dominan lempung berlanau (CL) dengan plastisitas sedang hingga tinggi serta kekuatan geser rendah. Situasi ini diperparah oleh curah hujan tinggi yang dapat meningkatkan kadar air tanah dan menurunkan daya dukungnya. Penanganan lereng yang tepat diperlukan untuk mencegah kelongsoran yang berpotensi merusak infrastruktur dan membahayakan keselamatan masyarakat.

Metode *soil nailing* merupakan salah satu teknik perkuatan lereng dan dinding galian yang efektif, ekonomis, dan fleksibel. Prinsipnya adalah memperkuat massa tanah in-situ dengan pemasangan batang baja tulangan (*nail*) yang di-grouting, sehingga terbentuk interaksi antara tanah dan nail yang meningkatkan kestabilan lereng. Keunggulan metode ini dibandingkan dinding penahan konvensional adalah kemampuannya untuk dibangun bertahap dari atas ke bawah, sehingga mengurangi risiko ketidakstabilan selama konstruksi.

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan dinding penahan tanah tipe *soil nailing* setinggi 7 meter pada lokasi studi di Desa Sumbertangkil. Analisis dilakukan dengan mengacu pada SNI 8460:2017 dan SNI 1726:2019, meliputi perhitungan dimensi nail, analisis stabilitas terhadap geser dan daya dukung tanah, serta perencanaan sistem drainase. Diharapkan hasil perencanaan ini dapat menjadi acuan bagi penerapan metode *soil nailing* pada kondisi tanah serupa di wilayah rawan longsor.

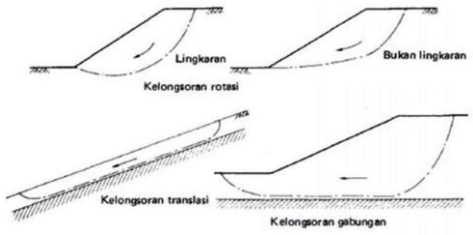
2. DASAR TEORI

Stabilitas lereng

Jika komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah, membuat lereng melampaui perlawanan terhadap penggeseran tanah pada bidang longsor maka akan terjadi kelongsoran tanah.

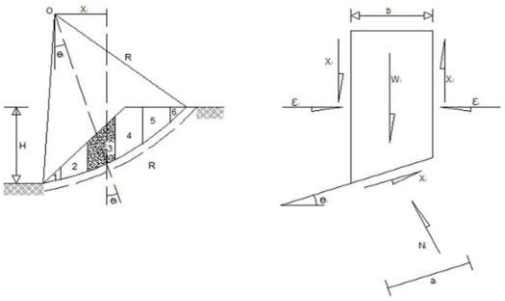
Ada 3 tipe kelongsoran tanah.seperti :

1. Kelongsoran rotasi
2. Kelongsoran translasi
3. Kelongsoran gabungan.



Gambar 1. Tipe – Tipe Keruntuhan Lereng (Sumber: Braja M Das, 1985)

Salah satu metode yang digunaka untuk anaisis stabilitas terhadap kelongsoran dengan metode keseibangan batas dengan asumsi bentuk bidang longsor lingkaran seperti pada gambar berikut :



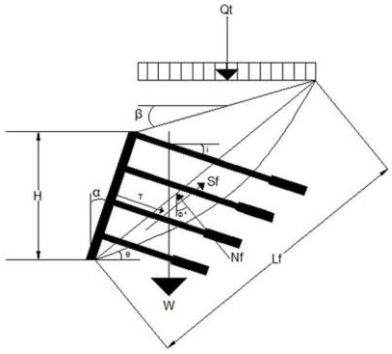
Gambar 2. Gaya Yang Bekerja Pada Irisan (Sumber : Hardyatmo, 2003)

Dengan persamaan angka keamanan :

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=p}(c.ai + Wi.tg\phi)R}{\sum_{i=1}^{i=n}(Wi.\ \sin\theta_i)R} \geq 1{,}5$$

Soil Nailing

Soil nailing merupakan salah satu jenis perkuatan lereng dengan memasang potongn – potongan baja (nails) kedalam tanah. Proses ini menghasilkan sebuah bagian perkuatan yang stabil dan bisa menahan tanah dibelakangnya (Lazarte, 2001). Perkuatan yang bekerja bersifat pasif dan kinerja perkuatanya berkembang melalui interaksi antara tana dan nails dalam deformasi tanah selama proses konstruksinya. Secara skematik, stabilitas lereng global dengan soil nailing seperti gambar berikut.



Gambar 3. Stabilitas Lereng Global Dengan Soil Nailing (Sumber : Lazarte, 2003)

$$FK = \frac{\tau}{\tau d} = \frac{c+(W+Q)\cos\ an.\tan\varphi+(\sum Ti\ \sin(a+i)-\sum Vi\ \cos(a+i))\tan\varphi}{(W+Q)\sin\ an-\sum Visin(a+i)}$$

Dimana :
c = kohesi tanah
φ = sudut gesek dalam tanah
α = sudut kemiringan
W = berat isi tanah ke-n
Q = beban mati diatas lereng
Lf = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-n
Le = panjang nail bar dibelakang bidang longsor
β = kemiringan lereng
i = kemiringan nail
∑Ti = jumlah daya dukung
∑Vi = jumlah daya dukung gaya geser

Lazarte, menjelaskan bahwa ada bebrapa hal yang perlu di perhatikan dalam mendesain perkuatan soil nailing berdasarkan mode keruntuhan yang mungkin terjadi, antara lain :

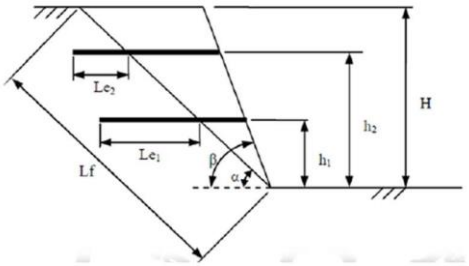
1. *Pull-out Failure*
   Dapat terjadi akibat tidak cukupnya Panjang tusukan nail yang melewati batas bidang gelincir lereng dan gaya gesekan tanah yang berkerja pada permukaan nail. Biasanya gaya gesekan tanah yang berkerja pada nail dipengaruhi oleh kohesi tanah dan kekasaran permukaan nail. Untuk meningkatkan kekasaran permukaan nail dilakukan grout dengan semen disekitar nail.
2. *Nail Tendon Failure*
   Keruntuhan ini terjadi akibat ketidak mampuan kekuatan tegangan nail dalam menahan beban tanah diatas bidang gelincir lereng. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya nilai tegangan leleh baja (fy) yang digunakan sebagai nail. Nail tendon failure juga dapat terjadi akibat berkurangnya kekuatan nail yang disebabkan oleh oksidasi dalam tanah yang mengakibatkan terjadinya karat pada nail.
3. Face Failure
   Keruntuhan ini biasanya disebabkan lebih kepada kesalahan pekerjaan pada saat proses konstruksi. Face failure terjadi akibat ketidak mampuan ujung permukaan nail menahan gaya lateral tanah.

Analisa Stabilitas Lerengan Dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Suatu perkuatan dinding penahan tanah harus dirancang agar aman atau stabil terhadap pengaruh gaya dalam dan gaya luar. Analisis ini terbagi menjadi dua yaitu stabilitas ekstern atau stabilitas luar (external stability) dan stabilitas intern atau stabilitas dalam (internal stability).

1. Analisis Stabilitas *External*
   a. Faktor aman terhadap keruntuhan lereng global (global stability failure)
   Perkuaran lereng harus aman terhadap keruntuhan, pada perhitungan manual, mengadopsi metode baji (wedge) dengan bidang longsor planar, yaitu :

$$SF = \frac{c.\,Lf+(W+Q)\cos an.\tan\varphi+(\sum Ti\sin(a+i)-\sum Vi\cos(a+i))\tan\varphi}{(W+Q)\sin an-\sum Ticos(a+i)-\sum Visin(a+i)}$$



Gambar 4. Gaya Yang Berkerja Dalam Metode Baji (Wedge Metode)

- Gaya Geser dan Gaya Tarik Ijin Global Untuk menghitung stabilitas lereng dengn perkuatan secara global perlu diperhatikan gaya geser, dan gaya tarik ijin dari sebuah nail bar dapat dihitung dengan persamaan 2.4 dan 2.5.

$$Vn = \frac{Rn}{\sqrt[2]{1+4\tan(90^{\circ}-a)}}$$

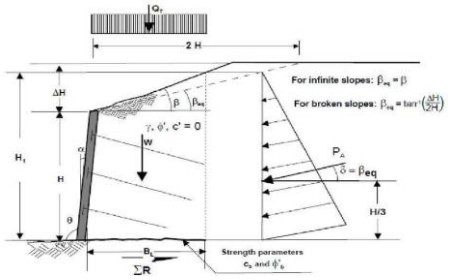
$$T = 4V\tan(90^{\circ}-\text{⍰})$$

- Gaya Tarik ijin dari perkuatan soil nailing
  Apabila lebih besar dari gaya ijin global dari pada gaya Tarik ijin dari masing – masing nail maka gaya ijin yang digunakan adalah gaya ijin global, baik untuk gaya ijin tarik.

$$Ti = \frac{\pi\ D\ Le\ Fmax}{FoS}$$

   b. Faktor aman terhadap penggeseran (sliding stability failure)

$$SF = \frac{cb\ B_L+(W+Q+PA\sin\delta)\tan\varphi}{PA\cos\delta}$$



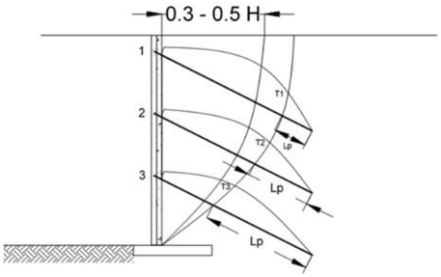
Gambar 5. Stabilitas Terhadap Penggulingan Pada Perkuatan Soil Nailing
(Sumber: Steven C. Devin, 2012)

   c. Faktor aman terhadap kegagalan daya dukung tanah (bearing failure)

$$SF = \frac{C.Nc+0{,}5\gamma BeN\gamma}{Heg.\gamma}$$

2. Analisis Stabilitas Internal
   a. Faktor aman (SF) terhadap putus tulangan :

$$Fr = \frac{0{,}25x\ \pi x\ d2\ xfy}{\sigma hSv}$$

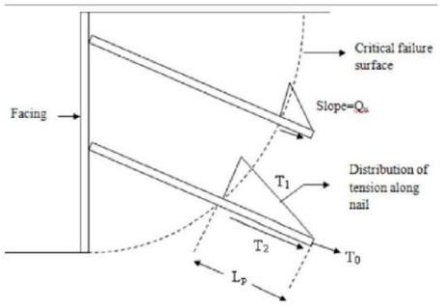


Gambar 6. Stabilitas Terhadap Penggulingan Pada Perkuatan Soil Nailing

(Sumber: Steven C. Devin, 2012)

   b. Faktor Aman Terhadap Cabut Tulangan :

$$Fp = \frac{\pi.qu.DdhL}{\sigma hSvSh}$$



Gambar 7. Keruntuhan Cabut Tulangan

(Sumber: Steven C. Devin, 2012)

Software fine geo 5

Geo 5 adalah rangkaian perangkat lunak komprehensif yang menyediakan solusi untuk tugas apapun mulai dari survei geologi hingga desain geoteknik tingkat lanjut yang meliputi analisis stabilitas, desain penggalian, desain dinding penahan tanah, fondasi dangkal, pondasi tiang pancang, analisis penurunan dan konsolidasi, pemodelan geologi, terowongan, dan survey geologi.

Pada studi ini digunakan analisis stabilitas dapat dipecahkan secara numerik dalam program yang menggunakan pengurangan bertahap parameter kekuatan geser MC (Φ,c). program ini digunakan

untuk memverifikasi desain dinding pranahan yang menawarkan sejumlah bentuk dinding dan menganalisis penampang. Membuat analisis stabilitas internal (terguling, tergelincir, dan daya dukung tanah pondasi), dampak gempa bumi (Mononobe-Okabe) dan beberapa tahap kontruksi.

3. METODOLOGI PERENCANAAN

Pada observasi yang dilakukan di jalan Desa Sumbertangkil Kec. Tirtoyudo Kab. Malang, dimana jalan tersebut sangat sempit untuk dilalui kendaraan2 besar, terlebih lagi telah terjadi longsor dibahu jalan hingga sampai perkerasan jalan sehingga jalan tidak sepenuhnya dapat digunakan. Perencanaan ini dilakukan guna perbaikan longsor yang terjadi menggunakan perkuatan lereng dengan soil nailing. Dalam menyusun tugas akhir ini, langkah-langkah analisis perhitungan dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 8) yang disajikan dalam flowchart tahapan perhitungan di bawah ini :

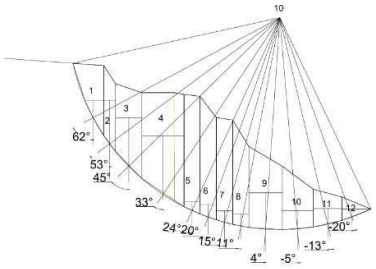
Gambar 8. Bagan alir perencanaan



4. PERENCANAAN

Analisa stabilitas lereng

Stabilitas lereng pada daerah longsor dihitung menggunakan metode irisan.



Gambar 9. Bidang Longsor Kritis

NO	γ	Ai	φ (°)	W (Kn)	θ (°)	c (kN/m²)	α (m)	c x α (kN)	W sin θ (kN)	N = W cos θ (kN)	cα + N tan φ (kN)
1	15.5	0.91	3,21	41,25	62	0,16	1.91	3.82	37,636	7.0558	37,702
2	15.5	1.60	3,21	27,3	53	0,16	1.74	3.48	22,530	14.5399	22,583
3	15.5	3.10	3,21	67,8	45	0,16	1.62	3.24	49,540	31.3220	49,681
4	15.5	4.30	3,21	140,25	33	0,16	1.52	3.04	78,932	47.4868	79,198
5	15.5	5.50	3,21	61,05	24	0,16	1.45	2.9	25,659	64.5420	25,769
6	15.5	6.50	3,21	59,7	20	0,16	1.38	2.76	21,099	81.3700	21,215
7	15.5	7.50	3,21	57	15	0,16	1.33	2.66	15,244	98.0774	15,365
8	15.5	8.40	3,21	49,65	11	0,16	1.28	2.56	9,789	114.0030	9,909
9	15.5	9.20	3,21	80,85	4	0,16	1.24	2.48	5,828	127.8765	6,077
10	15.5	9.90	3,21	52,35	-5	0,16	1.21	2.42	-4,715	141.3456	-4,482
11	15.5	10.50	3,21	29,1	-13	0,16	1.18	2.36	-6,764	152.4080	-6,554
12	15.5	5.60	3,21	11,25	-20	0,16	0.58	1.16	-3,976	82.0482	-3,772
Σ									250,802		252,692

Tabel 1. Perhitungan faktor aman

Faktor aman dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(c.bn + Wn.\tan\emptyset)\ \frac{1}{ma}}{\sum_{n=1}^{n=p} Wn.\ sina_n}$$

$$= \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(0{,}125 + \quad ,580)\ \frac{1}{2{,}130}}{37.636}$$

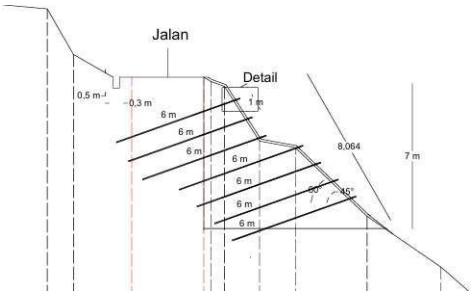
$$= \frac{252.455}{250.802}$$

= 1,007 < 1,5 (tidak memenuhi)

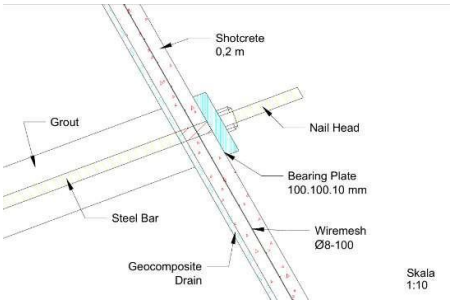
Jadi, lereng yang terjadi longsor perlu adanya perkuatan guna mendukung kestabilan lereng.

Analisa Perkuatan Lereng Menggunakan Metode Baji (*Wedge*)

Analisa kestabilan lereng dengan perkuatan lereng dilakukan pada stabilitas terhadap keruntuhan global lereng. Dengan bantuan program *geoslope* didapatkan bentuk bidang kritis yang mungkin terjadi, titik koordinat dari bidang longsor tersebut dijadikan acuan untuk menentukan titik *entry and exit* pada anlisis stabilitas lereng dengan perkuatan. Penentuan sudut kemiringan *nail* dihitung dengan *trial and error* i = 10° pada gambar 10.



Gambar 10. Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing*



Gambar 11. Detail Tampak Samping *Soil Nailing*

Menghitung berat tanah yang akan longsor

Wt = berat massa tanah yang berada dalam bidang gelincir

Wt = γ x Ai
= 15,5 x 10,386
= 160,983 kN

Q = 12 kN (termasuk beban kendaraan yang di gunakan pada table 2.1)

W = Wt + Q
= 160,983+ 12
= 169,813 kN

Lf = Panjang bidang gelincir

Lf = 10 x cos (90 - α)
= 10 x cos (90 - 45)
= 7,071 m

Cek terhadap gaya tarik dan gaya geser

Hitung gaya dukung tarik tulangan

Rn = Fy x As tul
= 420 x ($\frac{1}{4}$ x π x 1024)
= 337,613 kN

Rc = 0,5 x Rn
= 0,5 x 337,613
= 168,806 kN

1) Gaya geser ijin

$Vn = \frac{Rn}{2\sqrt{1+4\tan 2\,(90-(45+1\ ))}}$
$= \frac{337,613}{2\sqrt{1+4\tan 2\,(90-(45+1\ ))}}$
= 98,097 kN

Gaya tarik ijin tulangan

T = 4 x Vn x tan (90 – (α + i))
= 4 x 98,097 x tan (90 – (40 + 10))
= 274,754 kN

Gaya geser ijin tanah

Dimana nilai c1, c2 dan c3 didapat dari grafik perbandingan antara hubungan nilai φ (phi) dengan c1, c2 dan c3 pada gambar 2.17. Berikut nilai C1, C2 dan C3.

	Hasil
C1	1.3
C2	0.8
C3	41

a. Menghitung nilai Pu

Pu = (c1 x $\frac{2}{3}$ H + c2 D) x γ x $\frac{2}{3}$ H
= (1,3 x $\frac{2}{3}$ 7 + 0,8 x 0,032) x 15,5 x $\frac{2}{3}$ 7
= 440,67 kN

Pu = c3 x D x γ x Zo6
= 41 x 0,032 x 15,5 x 4,667
= 94,901 kN

Dari perhitungan di atas diambil nilai P terkecil, maka digunakan Pu = 94,901 kN untuk perhitungan selanjutnya.

$P_{max} = \frac{Pu}{2}$
$= \frac{94,901}{2}$
= 47,451 kN

$Lo = \sqrt[4]{\frac{4EI}{KsD}}$
$= \sqrt[4]{\frac{4 \times 200000000 \times 5,145 \times 10-8}{24000 \times 0,032}}$
= 0,086 m

Keterangan :

E = modulus elastisitas baja = 200.000
Mpa = 200000000 kN/m^2
I = momen inersia penampang *nail bar*
$= \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,043^4}{64} = 5,145 \times 10^{-8}$ m^4
D = diameter *nail bar* (tanpa di *grouting*)
= 0,032 m
K_s = 24000 kN/m^3 (dari table 2.1)

$Vs = P_{max} \times \frac{D}{2} Lo$

$2\sqrt{1+4\tan 2\,(90-(a+i))}$

$= 47,451 \times \frac{0,032}{2} \times 0,086$

$= 0,065$ kN < Vn

123,451 kN

Karena Vs < Vn, maka gaya geser ijin global (Vmax) yang digunakan adalah sebesah 0,065 kN. Adanya

pembatsan gaya geser ijin, maka gaya Tarik ijin dar *nail bar* harus dikoreksi menjadi :

$$\frac{Vmax2}{Rc2} + \frac{Tmax2}{Rn2} = 1$$

$$\frac{Vmax2}{Rc2} + \frac{Tmax2}{Rn2} = 1, \text{ maka}$$

Tmax = 337,483 kN

Menghitung Nilai Le

Nilai Le didapatkan dengan bantuan program autocad 2024. Le adalah Panjang *nail* yang berada di belakang garis bidang longsor dan setiap *nail* diberikan *space* vertical 1 meter. Penentuan Le dapat dilihat pada nilai pada tabel 3 berikut.

No *nail*	L *nail* (m)	Hi(m)	Le (m)
1	6	7	6
2	6	6	6
3	6	5	6
4	6	4	6
5	6	3	6
6	6	2	6
6	6	1	6

Tabel 3. Parameter *Nail*

Pada perhitungan ini, nilai factor keamanan didapatkan dengan cara coba – coba. Perhitungan coba – coba nilai SF dengan Ms Excel. Nilai coba – coba harus sama dengan nilai hasil perhitungan akhir. Analisis pada perhitungan ini digunakan asusmsi SF sebesar 1,5.

F_{max} = 120kN/m^2 (didapatkan dari table 2.2)

$$T1 = \frac{\pi \times F \times Le \times fmax}{1,5}$$

$$= \frac{3,14 \times 0,032 \times 6 \times 120}{1,5}$$

= 48,230 kN < Tmax (Aman)

No *nail*	L *nail* (m)	Hi(m)	Le (m)	T (kN)	V (kN)
1	6	6	6	44,750	0,065
2	6	5	6	45,579	0,065
3	6	4	6	42,671	0,065
4	6	3	6	39,771	0,065
5	6	2	6	36,862	0,065
6	6	1	6	33,962	0,065
Σ				275,414	0,455

Tabel 4. Perhitungan Manual Le, T dan V

Gaya tarik ijin total dari *nail bar* (per unit Panjang tegak lurus bidang)

$$\sum T_1 = \frac{\Sigma T}{Sh}$$

$$= \frac{275,414}{1} = 275,414 \text{kN}$$

Dimana Sh = 1m spasi horizontal

Gaya geser ijin total dari *nail bar* (per unit panjang tegak lurus)

$$\sum V_1 = \frac{\Sigma V}{Sh}$$

$$= \frac{0,455}{1}$$

= 0,455 kN

Menghitung faktor keamanan keruntuhan global

Nilai faktor keamanan dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$SF = \frac{(c \times Lf) + (W \cos\alpha \tan\alpha) + \{\sum Ti \sin(\alpha+i)\} - \{\sum Vi \cos(\alpha+i)\} \tan\varphi}{(W \sin\alpha) - \{\sum Ti \cos(\alpha+i)\} - \{\sum Vi \cos(\alpha+i)\}}$$

= 9,862 > 1,5 (Aman)

Hasil dari perhitungan ini memberikan nilai keamanan (SF) sebesar 9,86 > 1,5 yang berarti analisis stabilitas lereng aman terhadap keruntuhan global lereng.

Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Gaya Geser

Menghitung koefisien tekanan tanah lateral aktif dan pengaruh kohesi.

Sudut pemasangan *nail* (i) = 10°

Sudut lereng (β) = 60°

L *nail* = 6 m

H = 7 m

c = 0,16 kN/m^2

Dimana :

Panjang kemiringan lereng $= \frac{7}{\sin 60}$

= 8,083 m

Xi = cos (β) x Panjang Kemiringan lereng

= cos (60) x 8,083

= 4,041 m

Ka = $\tan^2(45 - \frac{\varphi}{2})$

= $\tan^2(45 - \frac{\varphi}{2})$

= 0,703

Pengaruh adanya kohesi = -2 x c $\sqrt{Ka}$

= -2 x 0,16 $\sqrt{0,703}$

= -0,268 kN/m^2

Menghitung tekanan tanah aktif total di belakang zona perkuatan perlapisan.

Akibat beban merata

Pq = (q x Ka x H) – 2 x c $\sqrt{Ka \times H}$

= (12 x 0,703 x 7) – 2 x 0,16 $\sqrt{0,703 \times 7}$

= 57,141 kN/m

Akibat tekanan tanah

Pa = $\frac{\gamma \times H^2}{2}$ x Ka

= $\frac{15,5 \times 7^2}{2}$ x 0,703

= 266,811 kN/m

Ptotal = Pq + Pa

= 57,141 + 283,268

= 323,952 kN/m

Faktor aman terhadap penggeseran

Lx = L *nail* x cos I – T tan α
= 6 x cos 10 – 0,5 tan 45
= 5,409 m

BL = Xi + Lx
= 4,041 + 5,409
= 9,450 m

W = Ai x γ
= 10,386 x 15,5
= 160,983 kN/m

Q = 12 kN/m2

SF $= \frac{c \times BL \times (W+Q+Pa \sin\ ) \tan \varphi}{Pa \cos}$
$= \frac{0,16 \times 9,450 \times (160,983+12+14,940) 0,056}{266,392}$
= 1,53 > 1,5 (Aman)

Hasil dari perhitungan ini memberikan nilai keamanan (SF) sebesar 1,53 > 1,5 yang berarti analisis stabilitas lereng aman terhadap gaya geser.

Analisis Stabilitas Internal Terhadap Putus Dan Cabut Tulangan

Analisis stabilitas internal terhadap putus dan cabut tulangan dilakukan dengan bantuan aplikasi autocad 2016 untuk mengetahui nilai Le (panjang nail dibelakang bidang longsor) dan Li (kedalaman ujung nail dari permukaan tanah), dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

L *nail* = 6 m
Jarak verikal antar *nail* = 1 m
Ultimate bond strength (qu) = 130 kN/m^2 (dari table 2.2)
Diameter lubang bor (Ddh) = 0,1 m
Q = 12 kN/m^2
C = 0,16 kN/m^2
γ = 15,5 kN/m^3

No *nail*	Hi (m)	Lp (m)	Li (m)
1	7	5,53	3,084
2	6	5,53	4,084
3	5	5,53	5,084
4	4	5,53	6,084
5	3	5,53	7,084
6	2	5,53	8,084
7	1	5,53	9,084

Tabel 5. Data Perhitungan Lereng Untuk Putus dan Cabut Tulangan

Menghitung Tegangan Horizontal

σh1 = ((q x Ka) – 2 x c x √□□) + (γ x z1 x Ka)
= 41,748 kN/m^2

Menghitung angka keamanan terhadap putus tulangan tiap *nail*

Fr1 $= \frac{\frac{1}{4} x \pi x d^2 x fy}{\sigma h1 \times Sv \times Sh}$
= 8,1 > 1,5 (Aman)

Menghitung angka keamanan terhadap cabut tulangan

Fp1 $= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp1}{\sigma h1 \times Sv \times Sh}$
= 5,443 > 1,5 (Aman)

Dari perhitungan sebelumnya maka didapatkan hasil perhitungan analisa stabilitas internal terhadap putus dan cabut tulangan dengan sudut kemiringan *nail* 10° seperti pada Tabel 8.

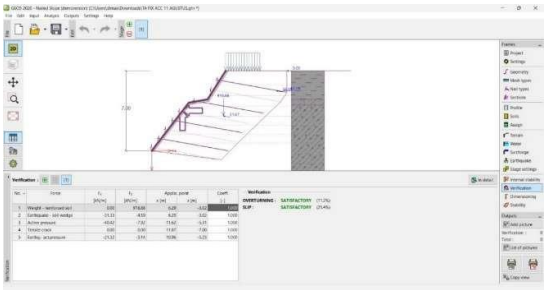
nail	σh (kN/m²)	Fr	Fp	Keterangan
1	41,748	8,087	5,443	Aman
2	52,639	6,414	4,059	Aman
3	63,529	5,314	3,148	Aman
4	74,419	4,537	2,505	Aman
5	85,309	3,958	2,025	Aman
6	96,200	3,509	1,655	Aman
7	107,090	3,153	1,510	Aman

Tabel 8. Hasil Perhitungan Stabilitas Internal Pada Lereng

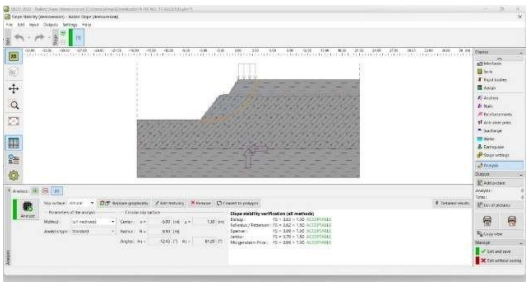
Berdasarkan hasil analisis stabilitas internal soil nailing pada putus tulangan didapat nilai SF terkecil 3,153 > 1,5 dan pada cabut tulangan didapat nilai SF terkecil 1,51 > 1,5, berarti stabilitas internal aman dari putus cabut tulangan.

Analisis Menggunakan Program *Geo 5* Dengan Soil Nailing

Analisis menggunakan program *geo 5* adalah untuk membandingkan antara perhitungan hasil analisis *geo 5* metode *Bishop* dengan hasil perhitungan manual menggunakan metode Baji (*wedge*). Pemodelan lereng untuk analisis menggunakan program *geo 5* dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 13. Pemodelan Perkuatan Lereng Menggunakan *Geo 5*



Gambar 13. Pemodelan Perkuatan Lereng Menggunakan *Geo 5*

Hasil analisis menggunakan program *geo 5* pada lereng yang diperkuat *nails* dan pelat bawah dengan memperhitungkan beban berat sendiri (tanah) dan berat bangunan didapatkan hasil SF dari kelongsoran keseluruhan (global) sebesar 3,45> 1,5, seperti pada gambar 4.6.

a. Data Teknis Dinding Penahan *Nail* (*non-structural)*

Dinding penahan *nail* dengan ketebalan 20 cm digunakan untuk menahan gaya dari *nail* yang terpasang pada lereng agar tidak dapat terlepas. Berikut spesifikasi dan data perencanaan dinding penahan *nail* sebagai berikut :

1. Dinding penahan *nail* terbuat dari pasangan beton
2. Tinggi yang terpasang 7 m dengan ketebalan 20 cm

5. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan studi kasus dan pembahasan yang telah terurai pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.:

1. Untuk titik terdalam *nail* yang digunakan pada perencanaan perkuatan lereng dengan *soil nailing* pada Desa Sumbertangkil Kecamatan Tirtoyudho pada Kabupaten Malang adalah 6 meter.
2. Didapatkan hasil dari Faktor keamanan (SF) terhadap Gaya geser sebesar 1,53, untuk daya dukung tanah sebesar 1,54, dan untuk keruntuhan global di dapatkan nilai 4,94, yang dimana angka tersebut aman karena SF >1,5.
3. Panjang *nail bar* yang di gunakan pada perbaikan lereng Desa Sumber tangkil Kecamatan Tirtoyudho Kabupaten adalah 6 meter.

Saran

1. Diperlukan lagi analisis menggunakan aplikasi Plaxis versi 2D atau Plaxis versi 3D untuk mengetahui lebih jelas kestabilan lereng dengan dan tanpa perkuatan.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi **v**ariasi sudut pemasangan nail, panjang, serta jenis material pelapis yang digunakan, guna memperoleh efisiensi material dan biaya yang lebih optimal.
3. Sebaiknya dilakukan juga analisis biaya dan waktu konstruksi agar metode soil nailing dapat dibandingkan secara ekonomi dengan metode perkuatan lereng lainnya seperti dinding *gravity* atau tiang bor.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. 2017. "Persyaratan Perancangan Geoteknik." *Standar Nasional Indonesia* 8460: 1–323.

Bambang Surendro. 2015. "Rekayasa Pondasi Dr. Bambang Surendro.Pdf." : 180.

Bowles, Joseph E. 1989. *Sifat-Sifat Fisik & Geoteknis Tanah*.

Braja M.Das. 2002. McGraw-Hill handbooks *Principles of Foundation Engineering*.

Braja M.Das. 2012. 11 Journal of Medicinal Plants *Evaluation of Consolida Orientalis and Adonis Vernalis Extracts on Eggs and Larval of Hyalomma Anatolicum Anatolicum and Rhipicephalus Bursa*.

Das, Baraja M. 1995. "Rekayasa Geoteknis)." *Erlangga*: 258.

Elias, Victor, and Ilan Juran. 1991. "Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations." : 221.

FHWA. 2015. "Soil Nail Walls Reference Manual." *Geotechnical Engineering Circular NO. 7 - Soil Nail Walls Reference Manual* (132085): 425. https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/nhi14007.pdf.

Gabriela, Advensia. 2016. "ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN METODE JANBU PADA LERENG LONGSOR DI KELURAHAN MANUPATEN KECAMATAN ALAK KOTA KUPANG." : 1–

23.

Hardiyatmo. 1992. "Mekanika Tanah II." *Gadjah Mada University Press* 91(5): 1–398.

Hardiyatmo, Hary Christady. 2001. Gramedia Pustaka Utama *Teknik Fondasi 1 Edisi Kedua*.

Ibrahim, Muhammad Fahmi, Paksitya Purnama Putra, and Indra Nurtjahjaningtyas. 2021. "Analisis Stabilitas Soil Nailing Sebagai Alternatif Penanganan Longsor Di Jalur Nasional Piket Nol Lumajang Jawa Timur (Stability Analysis of Soil Nailing as an Alternative for Landslide Handling on the Piket Nol National Route Lumajang East Java)." *Jurnal Jalan-Jembatan* 38(1): 34–46.

Lazarte. 2011. Proposed Specifications for LRFD Soil-Nailing Design and Construction *Proposed Specifications for LRFD Soil-Nailing Design and Construction*. doi:10.17226/13327.

Lolong, Sebastian P, and Handoko Teguh Wibowo. 2016. "Geologi Dan Petrogenesa Batuan Andesit Desa Sumbertangkil Dan Sekitarnya Kecamatan Tirtoyudo Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur." *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* 0(0): 141–50. https://ejurnal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/1385.

Steven C., Devin. 2017. "Design Example - 15 Ft Launched Soil Nail Wall with 2-5/8 to 1 (20.8 Deg) Backslope. 8." 1: 1–21.

Syazili, Muhammad, Mohammad Bisri, Ussy Andawayanti, and Andre Primantyo Hendrawan. 2025. "Modeling of Soil Nailing Configuration towards the Slope Height Due to the Land Sliding Safety." 6798(167): 1262–72.

Uba, N A A, A T Sudjianto, and 2021. "… VARIASI KADAR AIR TERHADAP SWELLING VOLUMETRIK [1] N. A. A. Uba, A. T. Sudjianto, and , '… VARIASI KADAR AIR TERHADAP SWELLING VOLUMETRIK TANAH LEMPUNG EKSPANSIF (Studi Kasus KM 51 Ruas Jalan Tirtoyudo Kabupaten Malang),' … Innov. …, No. Ciastech, Pp." *... on Innovation and ...* (Ciastech): 455–62.

Ummu Salamah, Eding Iskak Imananto, and Andrianus Agus Santosa. 2020. "Studi Perencanaan Dinding Penahan Tanah Dengan Soil Nailing Pada Pembangunan Perumahan the Taman Dayu Ciputra Kecamatan Pandaan Kabupaten Pasuruan." *Sondir* 4(2): 34–43. doi:10.36040/sondir.v4i2.3142.