

KOMPARASI STABILITAS LERENG PADA SAYAP JEMBATAN KARE DENGAN METODE BISHOP DAN JANBU

Mohammad Zainul Ikhwan^{1*}, Toni Budi Santoso², Suji'at³

^{1,2,3} Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro, Bojonegoro

Jl. Lettu Suyitno No.02 Bojonegoro Kode Pos 62119

E-mail: ^{1*}zaeny.ikhwan@gmail.com, ²prawoto.poni@gmail.com, ³sujiatmaibit@gmail.com

(*) Penulis Korespondensi

(Artikel dikirim: 22 Juli 2025, Direvisi: 4 Agustus 2025, Diterima: 30 Desember 2025)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v13i3.4734>

ABSTRAK: Jembatan merupakan bangunan yang memiliki peranan penting bagi kelancaran pergerakan lalu lintas dalam mendukung konektivitas dan mobilitas masyarakat setempat. Pentingnya pemahaman terhadap daya dukung tanah pada sayap jembatan ini tidak dapat diabaikan, mengingat kondisi tanah yang beragam di wilayah tersebut. Sayap jembatan Kare mengalami longsor di sisi bagian utara akibat gerusan dari aliran air Bengawan solo. untuk itu perlu analisis stabilitas tanahnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai perbandingan stabilitas lereng, mensimulasikan TPT sebagai perkuatan tanah dan mengetahui nilai *Safety Factor* (SF) stabilitas lereng. Metode yang digunakan adalah Janbu dan Bishop. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan simulasi jenis perkuatan dinding penahan tanah setinggi 7 meter, panjang 11,45 meter lebar tumit bawah 4 meter dan lebar tumit atas 0,20 meter dengan analisis perhitungan menggunakan metode Bishop didapatkan nilai sebesar $Sf = 2,571$ dan dengan metode Janbu diperoleh nilai sebesar $Sf = 1,986$ dengan nilai faktor keamanan $Sf = 1,25$ yang artinya lereng tersebut stabil dari bahaya keruntuhan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa dengan menggunakan perangkat lunak Janbu yang digunakan pada bidang longsor Sirkular maupun Non-Sirkular dan Bishop pada bidang Longsor Sirkular saja. Kedua metode tersebut lebih efektif digunakan untuk permodelan dan menganalisis kondisi di bawah permukaan tanah.

KATA KUNCI : *bishop, geostudio, janbu, safety factor*

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan bangunan yang memiliki peranan penting bagi kelancaran pergerakan lalu lintas dalam mendukung konektivitas dan mobilitas masyarakat setempat (Fadhillah & Wibowo, 2023), karena jembatan merupakan penghubung lintasan transportasi yang terpisah baik oleh sungai, danau, selat, rawa, maupun perlintasan lainnya (Darmawan et al., 2025). Namun, ketahanan struktural jembatan tidak hanya bergantung pada elemen-elemen utama seperti balok dan fondasi, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh daya dukung tanah di sekitarnya (Ikhwan, 2024).

Struktur Jembatan Kare diperhitungkan mampu bertahan selama 50 tahun. Kendaraan roda dua dan roda empat bisa menggunakan akses jembatan tersebut. pembukaan akses lalu lintas di Jembatan Kare semakin mempermudah masyarakat Tuban maupun Bojonegoro dalam berbagai bentuk transportasi. Selain itu, pembukaan akses Jembatan Kare juga akan mempercepat arus distribusi barang dari kedua kabupaten yang sebelumnya harus memutar dan menempuh jarak 8 km. Maka berdasarkan manfaat yang diterima masyarakat sekitar, perlu diperhatikan kondisi daya dukung tanah pada sayap jembatan Kare agar tidak mengalami

kerusakan yang lebih parah.

Pentingnya pemahaman terhadap daya dukung tanah pada sayap jembatan ini tidak dapat diabaikan, mengingat kondisi tanah yang mungkin beragam di wilayah tersebut (Raharja & Hibatullah, 2025). Faktor-faktor seperti jenis tanah, ketinggian air tanah, dan karakteristik geoteknik lainnya dapat mempengaruhi keandalan struktur jembatan. Banyak masalah kerusakan yang muncul pada jembatan di berbagai wilayah tentang permasalahan lereng, seperti yang terjadi pada jembatan Kare yang baru di diresmikan tahun 2022 sudah mulai mengalami erosi pada tanah di sisi kanan dan kiri sayap jembatan akibat gerusan dari aliran air bengawan solo sehingga jika di biarkan akan mengakibatkan kerusakan yang fatal pada sayap struktur jembatan. Untuk itu perlu dilakukan analisis pada lereng agar mengetahui stabilitas tanah di jembatan Kare.

Untuk memahami akar masalah dan mencari solusi perbaikan yang tepat, perlu dilakukan evaluasi terhadap karakteristik tanah di lokasi, agar memungkinkan analisis yang lebih akurat dan dapat dibandingkan dengan hasil dari beberapa metode untuk mendapatkan keyakinan yang lebih tinggi terhadap nilai faktor keamanan dalam penelitian ini menggunakan aplikasi

KOMPARASI STABILITAS LERENG PADA SAYAP JEMBATAN KARE DENGAN METODE BISHOP DAN JANBU

(Mohammad Zainul Ikhwan, Toni Budi Santoso, Suji'at)

Geostudio 2023 dengan menggunakan metode Janbu dan Bishop (Alok, 2024), untuk mengetahui perbandingan stabilitas lereng pada sayap jembatan Kare sehingga tidak mengakibatkan hal-hal lebih buruk yang akan terjadi pada kerusakan sayap jembatan dikemudian hari (Antonioni et al., 2024).

Tujuan dalam melakukan penelitian ini selain dapat mengetahui perkuatan sayap dinding jembatan Kare yang tepat dengan menggunakan program Geostudio juga stabilitas lerengnya pada nilai faktor aman agar ke depan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa atau masyarakat umum, termasuk pemerintah daerah dan instansi terkait, dalam merencanakan, pemeliharaan dan perbaikan jembatan

2. METODE PENELITIAN

Penelitian merupakan proses yang terdiri atas beberapa tahap. Setiap tahapan merupakan bagian yang menentukan untuk menjalankan tahapan selanjutnya. Teori-teori yang ada merupakan dasar dalam melaksanakan penelitian dan mengacu pada latar belakang dan tujuan yang akan dicapai. Untuk dapat mendapatkan penelitian yang baik, diperlukan suatu urutan langkah yang cermat. Hal ini dikarenakan penelitian merupakan suatu proses yang saling berinteraksi satu sama lainnya sehingga setiap langkah perlu dilaksanakan secara tepat dan sesuai dengan prosedur yang ada.

Dari hasil observasi yang telah dilakukan langsung di lapangan pada jembatan Kare dan data yang diperoleh dari Dinas PU Kabupaten Tuban selaku pengarsipan data proyek. Penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas tanah pada lereng jembatan Kare dengan metode Janbu dan Bishop dengan program Geostudio 2023 (Silvia et al., 2019).

2.1 Analisis Geoteknik

Berdasarkan data *soil investigation* yang didapat dengan menggunakan pengujian N-SPT sebagai metode yang umum digunakan dalam geoteknik untuk menilai sifat-sifat tanah di lapangan, mengidentifikasi jenis tanah dan konsistensinya, mendapatkan sampel tanah terganggu untuk indentifikasi visual, dan memberikan nilai resistensi penetrasi dalam mendukung desain fondasi yang aman (Kementrian PUPR & Departemen Pekerjaan Umum, 2021) dalam penelitian ini diperoleh data hasil uji pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Rekapitulasi Nilai N-SPT setiap *Bore Hole*

Depth (m)	BH-01	BH-02	BH-03
0	0	0	0

2	8	5	5
4	18	8	7
6	10	5	4
8	13	7	19
10	8	11	15
12	10	9	18
14	6	10	12
16	12	8	10
18	28	24	7
20	25	16	18
22	27	25	25
24	23	28	27
28	31	29	30
30	33	33	35
32	17	18	19
34	13	14	15
36	15	17	16
38	16	12	13
40	15	20	17
42	14	12	10
44	24	24	25
46	19	17	18
48	23	23	20
50	22	25	24

(Sumber : Dinas PU Kab. Tuban)

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode SPT yang dilakukan di lapangan oleh dinas PU Kabupaten Tuban diperoleh data konsistensi tanah yang terdapat pada kedalaman elevasi -44 m dengan nilai N-SPT >16.

Korelasi SPT terhadap konsistensi tanah lempung mengindikasikan kepadatan tanah, yang sangat terkait dengan kuat geser dan kadar airnya dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Korelasi SPT Terhadap Konsistensi Tanah Lempung

Konsistensi	Kohesi, C_u kPa	q_u	SPT
Sangat Lunak	0-12,5	0-25	0-2
Lunak	12,5-25	25-50	2-4
Sedang	25-50	50-100	4-8
Kaku	50-100	100-200	8-16
Sangat Kaku	100-200	200-400	16-32
Keras	>200	>400	>32

(Sumber : Bowles, 1977)

Rentang nilai modulus elastisitas adalah parameter geoteknik yang sangat penting, menunjukkan kekakuan atau kekerasan relatif tanah, mengukur seberapa besar tanah akan mengalami deformasi ketika diberikan tegangan. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas, semakin kaku tanah tersebut, dan semakin kecil deformasi yang akan terjadi di bawah beban tertentu. Sebaliknya, tanah dengan modulus elastisitas rendah akan lebih mudah mengalami

deformasi. Dari nilai modulus elastisitas tanah dapat diketahui kondisi tanahnya, seperti diuraikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Rentang Nilai Modulus Elastis

SPT	Ø	Soil Condition
>50	>41	Very Good
30-50	36-41	Good
10-30	30-36	Fair
4-10	28-30	Poor
0-4	<28	Very Poor

(Sumber : Bowles,1977)

Tabel 4. Hubungan antara jenis tanah dan *poisson ratio*

Janis Tanah	N_f	γ_b (kN/m ³)
Tanah Pasir	<4	<14
	4-10	14-16
	10-30	16-18
	30-50	18-20
	>50	>20
Tanah	<2	<15.7

Tabel 5. Hasil Penyelidikan Geoteknik

BH – 01					
Kedalaman (m)	Rerata N-SPT		C (kPa)	E (kPa)	γ (kN/m ³)
0 – 4	8.23	8	13.86	7700	19
4 – 8	10.93	14	24.51	10300	19
8 – 16	8.55	14	24.51	8000	9.39
16 – 50	20.73	13	27.46	20000	9.69
0 – 4	8.23	8	13.86	7700	19
4 – 8	10.93	14	24.51	10300	19
8 – 16	8.55	14	24.51	8000	9.39
BH – 02					
Kedalaman (m)	Rerata N-SPT		C (kPa)	E (kPa)	γ (kN/m ³)
0 – 16	10.62	10	31.38	10200	19
16 – 30	22.28	14	26.97	21800	9.39
30 – 50	10.92	11.5	28.93	10800	9.39
BH – 03					
Kedalaman (m)	Rerata N-SPT		C (kPa)	E (kPa)	γ (kN/m ³)
0 – 6	9.02	10.12	14.22	9000	19
6 – 12	23.51	15	25.5	23000	9.39
12 – 18	10.10	15	25.5	10000	9.39
18 – 30	23.90	15	27.95	23400	9.69
30 – 42	9.83	13	27.46	9800	9.69
42 – 50	11.9	12	28.44	11700	9.99
0 – 6	9.02	10.12	14.22	9000	19

(Sumber : Dinas PU Kab. Tuban)

Lempung	2-4	<15.7-18.8
	4-8	17.3-19.6
	8-16	18.1-20.4
	16-32	18.8-22
	>32	>20.4

(Sumber : Bowles, 1977)

Berdasarkan analisis yang dilakukan di lapangan didapatkan hasil rekapitulasi parameter tanah yang akan digunakan dalam analisis penelitian ini yang diuraikan pada **Tabel 5**.

Dari ketiga titik bor pada **Tabel 5** diketahui bahwa kondisi tanah pada lokasi proyek cukup bervariasi secara vertikal, dan ada indikasi perbedaan horizontal antar titik bor, meskipun polanya memiliki kemiripan tertentu.

Pada BH-01 tanah lempung dengan konsistensi sedang hingga kaku N-SPT sekitar 8-11, dengan kohesi dan kekakuan yang cukup untuk mendukung beban ringan hingga menengah. Berat volume di lapisan ini konsisten di 19 kN/m³. Pada BH-02 Ada lapisan-lapisan dengan N-SPT yang tinggi sekitar 20-24 dan modulus elastisitas yang sangat tinggi 20000-23400 kPa, menunjukkan tanah yang sangat kaku dan kuat,

KOMPARASI STABILITAS LERENG PADA SAYAP JEMBATAN KARE DENGAN METODE BISHOP DAN JANBU

(Mohammad Zainul Ikhwan, Toni Budi Santoso, Suji'at)

potensial sebagai lapisan pendukung yang baik untuk fondasi dalam. Lapisan ini umumnya memiliki berat volume yang lebih rendah sekitar $9.39 - 9.69 \text{ kN/m}^3$, yang bisa mengindikasikan tanah lempung yang jenuh air atau jenis tanah yang berbeda dengan berat volume yang lebih rendah dibandingkan tanah di permukaan. Pada BH-03 adanya fluktuasi kekuatan dan kekakuan pada beberapa titik bor yang menunjukkan pola naik-turun kekuatan di berbagai kedalaman. Ini menunjukkan bahwa stratifikasi tanah di lokasi ini cukup kompleks dan perlu dipertimbangkan secara cermat dalam desain fondasi.

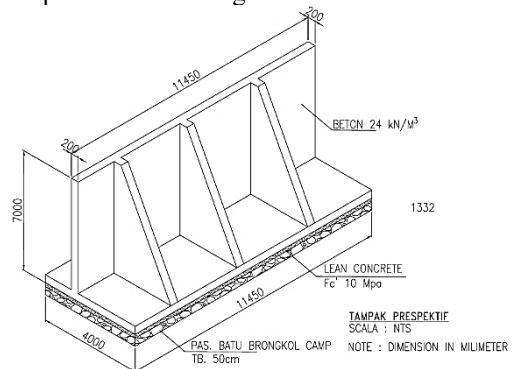
2.2 Analisis Lereng dengan Geostudio 2023

Metode Bishop secara spesifik mengasumsikan bahwa bidang longsor (*slip surface*) berbentuk busur lingkaran (*circular*). Asumsi ini membuat metode ini sangat cocok untuk menganalisis lereng di tanah homogen atau di mana kegagalan diperkirakan terjadi melalui rotasi. menyederhanakan perhitungan dengan hanya mempertimbangkan kesetimbangan momen (*moment equilibrium*) di sekitar pusat rotasi. Metode ini mengabaikan gaya geser antar irisan (*inter-slice shear forces*). Asumsi ini membuat perhitungan lebih sederhana dan cepat, namun bisa kurang akurat pada kondisi tertentu. Faktor keamanan *Safety Factor (SF)* dalam Metode Bishop diturunkan dari persamaan kesetimbangan vertikal. Hal ini didasarkan pada asumsi bahwa gaya normal pada dasar setiap irisan bekerja di tengah-tengah irisan tersebut. Metode ini cukup akurat dan memberikan hasil yang konservatif (cenderung lebih aman) untuk bidang longsor berbentuk lingkaran. Perhitungannya yang relatif sederhana menjadikannya sangat populer untuk analisis pendahuluan (Rumbyarso & Pribadi, 2023). Metode Janbu lebih fleksibel, Metode ini dapat digunakan untuk menganalisis bidang longsor yang berbentuk busur lingkaran (*circular*) maupun yang tidak berbentuk busur lingkaran (*non-circular*). Fleksibilitas ini menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk menganalisis lereng dengan kondisi geologi yang kompleks, seperti adanya lapisan tanah yang berbeda atau zona lemah. Metode Janbu mempertimbangkan kesetimbangan gaya secara horizontal (*horizontal force equilibrium*). Metode ini juga mengabaikan gaya geser antar irisan, mirip dengan Bishop versi sederhana, tetapi fokus pada kesetimbangan gaya horizontal alih-alih momen. Faktor keamanan dalam Metode Janbu diturunkan dari persamaan kesetimbangan horizontal (Rahman et al., 2021). Metode ini juga memiliki faktor koreksi (f_0) untuk menyesuaikan hasil perhitungan dengan kondisi nyata, terutama

untuk lereng yang curam. Metode ini cenderung memberikan hasil yang sedikit lebih rendah dibandingkan Bishop untuk kasus bidang longsor lingkaran. Namun, kelebihanannya adalah untuk menganalisis bidang longsor non-sirkular, yang sering terjadi, terutama pada lereng berlapis atau di mana terdapat zona lemah (Amri et al., 2021). Dalam permodelan dengan aplikasi *Slope/w* perlu dilakukan (Seequent, 2025) beberapa tahapan tersebut sebagai berikut :

1. Buka aplikasi *GeoStudio*, Pilih *Slope/W*
2. Beri nama dan pilih metode yang digunakan
3. Pilih *Set* kemudian *Page* untuk menentukan tampilan pengerjaan dan di sesuaikan dengan ukuran kertas
4. Tentukan satuan yang akan digunakan dengan klik *view* lalu pilih *units*
5. Klik *Set* lalu *Grid* untuk mempermudah dalam menggambar
6. Menggambar DPT Kantilever dan Lapisan Tanah

Langkah selanjutnya pembuatan sketsa DPT Kantilever dan lapisan tanah pada lembar kerja *Slope/W* dengan mengguakan perintah *Draw Regions*.

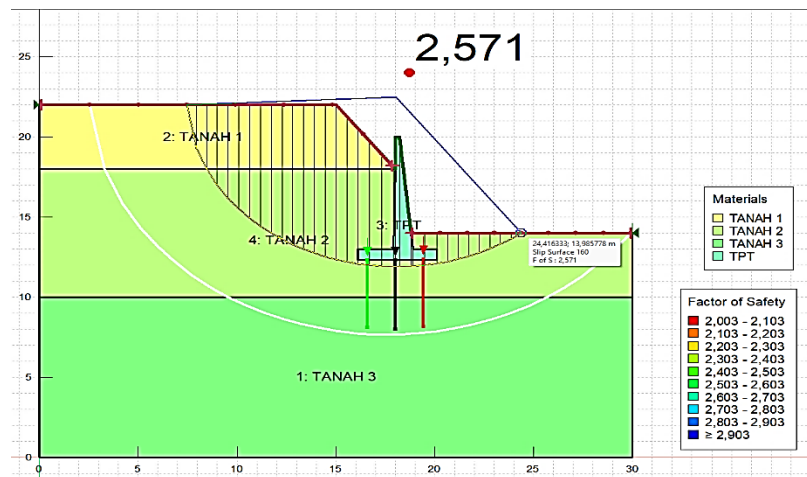


Gambar 1. Sketsa Dinding Penahan Tanah

Sumber : Hasil Penelitian

Jenis Struktur: *Buttress Retaining Wall* dengan tinggi 7 meter Panjang struktur 11,45 meter lebar dasar 4 meter tebal dinding atas 20 cm. Berat isi beton 24 kN/m^3 lantai kerja dengan mutu $f_c' 10 \text{ MPa}$. Di bawah lantai kerja terdapat lapisan batu kali/brongkol dengan tebal 50 cm. Lapisan ini berfungsi sebagai perbaikan tanah atau drainase bawah struktur untuk mengurangi tekanan air pori.

7. Memasukan data tanah dan diterapkan pada sketsa yang sudah dibuat
Membuat Beban Merata Klik *Draw Surcharge Load*, kemudian masukkan beban merata , Lalu Klik *Draw* dan gambar diatas lapisan tanah
8. Metode Analisis
Disebelah lembar kerja sebelah kiri pilih *Define Project* lalu pilih metode analisis lalu



Gambar 2. Permodelan Metode Bishop
Sumber : Hasil Penelitian

bisa dilanjutkan dengan Klik Start.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kriteria dan persyaratan dalam perencanaan dinding penahan tipe urugan baik dari timbunan maupun pondasinya. Dalam melakukan analisa menggunakan perhitungan stabilitas lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2005), dalam pembuatan permodelan lereng dengan *software* Geostudio 2023.

Permodelan yang dibuat berdasarkan pada parameter-parameter statis dan mekanis dari data-data pihak yang berwenang dalam pelaksanaan pembangunan jembatan Kare, ditinjau faktor keamanan terhadap stabilitas lereng dari bahaya keruntuhan pada sayap jembatan (Zaldi et al., 2023). Untuk meninjau keamanan permodelan ini penulis melakukan komparasi hasil *run out* permodelan dengan peraturan-peraturan standar keamanan stabilitas lereng.

Dalam penelitian ini diperoleh data tanah dari dinas PU Kabupaten Tuban sebagai berikut :

BH-01

Kedalaman = 0-4 meter

γ (berat isi tanah) = 19 kN/m³

Kohesi = 13.86 kPa

Sudut Gesek = 8°

1. Hasil Permodelan Metode Bishop

BH-02

Kedalaman = 4-8 meter

γ (berat isi tanah) = 19 kN/m³

Kohesi = 24.51 kPa

Sudut Gesek = 14°

BH-03

Kedalaman = 8-16 meter

γ (berat isi tanah) = 9.39 kN/m³

Kohesi = 24.51 kPa

Sudut Gesek = 14°

Diperoleh pula data dinding penahan tanah dari DPU kabupaten Tuban yang berada di jembatan Kare sebagai berikut :

Tinggi Dinding = 7 meter

Panjang Dinding = 11,45 meter

Lebar Tumit (bawah) = 4 meter

Lebar Tumit (atas) = 0,20 meter

Berat isi beton = 24 kN/m³

3.1 Analisa Stabilitas Lereng dengan Program Geostudio 2023

Perhitungan diprogram Geostudio melalui beberapa tahapan agar perhitungan berjalan dengan baik. Di bawah ini adalah hasil permodelan metode Bishop dan Janbu dengan program Geostudio 2023.

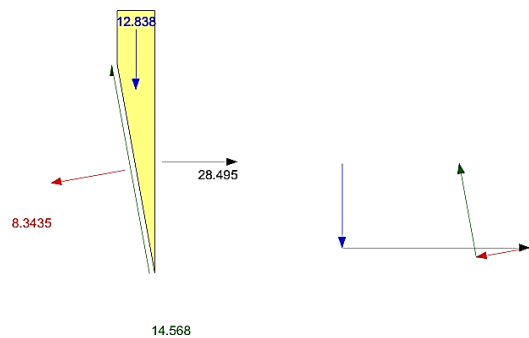
Gambar 2. menunjukkan hasil simulasi numerik untuk analisis stabilitas lereng menggunakan metode Bishop. Asumsi bahwa gaya geser antar-irisan adalah 16 kN/m hal tersebut sesuai dengan (SNI 03-3442-1994, 2009). Garis putih melengkung yang menembus lapisan Tanah 2 dan Tanah 3 merepresentasikan bidang longsor kritis yang diidentifikasi oleh analisis, bidang longsor ini diasumsikan berbentuk busur lingkaran. panah merah dan hitam yang menembus TPT dan tanah, menunjukkan vektor gaya yang dalam mekanisme longsor.

Angka besar 2,571 di bagian atas gambar adalah Faktor Keamanan global yang dihitung untuk bidang longsor kritis. Ini menunjukkan bahwa lereng dan struktur memiliki Faktor Keamanan terhadap keruntuhan pada bidang longsor. Nilai FoS = 2.571 ini jauh lebih tinggi dari 1.0 dan umumnya dianggap sangat aman.

KOMPARASI STABILITAS LERENG PADA SAYAP JEMBATAN KARE DENGAN METODE BISHOP DAN JANBU

(Mohammad Zainul Ikhwan, Toni Budi Santoso, Suji'at)

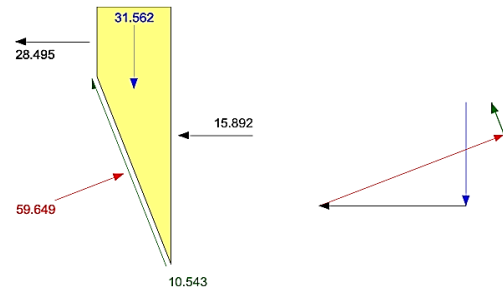
Dengan Faktor Keamanan 2.571, hasil analisis Bishop juga menunjukkan bahwa TPT dan lereng ini sangat stabil terhadap keruntuhan geser. Nilai FoS yang tinggi memberikan kepercayaan yang besar terhadap desain yang ada dari perspektif stabilitas geser.



Gambar 3. Slice 1 Metode Bishop
Sumber : Hasil Penelitian

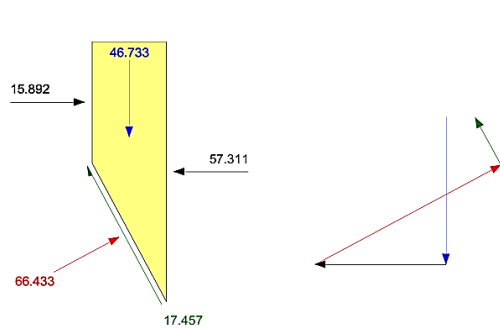
Perhitungan kestabilan lereng untuk *Slice 1* menggunakan Metode Bishop menghasilkan *Factor of Safety* (FoS) = 2,571, dengan parameter kuat geser tanah berupa sudut geser dalam $\phi = 8^\circ$ dan kohesi $c = 13,86$ kPa. Tekanan dan gaya pori (air maupun udara) tidak diperhitungkan sehingga seluruh nilai terkait pori bernilai 0. Berdasarkan data dari balai besar bengawan solo (BBWS) yang berada di kabupaten bojonegoro ketinggian muka air tanah bengawan solo > 12 meter. secara geometris, *slice* memiliki lebar 0,49274 m, *mid-height* 1,3713 m, panjang bidang geser (*base length*) 2,7865 m, dan kemiringan dasar $-79,815^\circ$. Nilai *anisotropic strength modifier* = 1 dan *applied lambda* = 0 menandakan tidak ada modifikasi kekuatan maupun pengaruh tambahan dalam analisis. Berat *slice* (termasuk aksi vertikal seismik) adalah 12,838 kN, menghasilkan gaya normal dasar $-8,3435$ kN dengan tegangan normal $-2,9943$ kPa. Kapasitas geser yang tersedia pada dasar berupa gaya tahan geser 37,448 kN (tegangan tahan geser 13,439 kPa), sedangkan gaya geser mobilisasi tercatat 14,568 kN (tegangan 5,228 kPa). Gaya sisi kiri dan titik beban tidak dihitung, sementara pada sisi kanan hanya gaya geser sebesar $-28,495$ kN tanpa gaya normal. Tidak ada pengaruh percepatan horizontal (seismic horizontal = 0 kN), beban luar seperti *point load*, *reinforcement*, maupun *surcharge*, sehingga stabilitas *slice* sepenuhnya dipengaruhi oleh sifat tanah dan geometri. Penutupan poligon menghasilkan total gaya 17,809 kN, dengan koordinat batas atas kiri (7,46875; 22 m), batas atas kanan (7,9614883; 22 m), batas bawah kiri (7,46875; 22 m), dan batas bawah kanan (7,9614883; 19,257421 m). Hasil

FoS > 1 menunjukkan *slice* dalam kondisi stabil, dan nilai 2,571 menggambarkan margin keamanan yang cukup baik pada kondisi parameter yang diasumsikan.



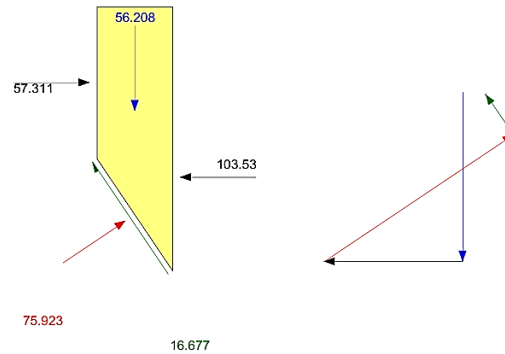
Gambar 4. Slice 2 Metode Bishop
Sumber : Hasil Penelitian

Pada analisis *Slice 2* dengan Metode Bishop, nilai *Factor of Safety* (FoS) yang diacu dari perhitungan keseluruhan adalah 2,571, dengan parameter kuat geser tanah berupa sudut geser dalam $\phi = 8^\circ$ dan kohesi $c = 13,86$ kPa. Seluruh komponen tekanan dan gaya pori—baik air maupun udara—diasumsikan 0, sehingga tidak berpengaruh dalam penentuan gaya normal dan gaya geser. ketinggian muka air tanah bengawan solo > 12 meter. Geometri *slice* mencakup lebar 0,49274 m, *mid-height* 1,3713 m, panjang bidang geser 1,3505 m, serta kemiringan dasar $-68,602^\circ$. Nilai *anisotropic strength modifier* = 1 dan *applied lambda* = 0 menunjukkan bahwa tidak ada penyesuaian kekuatan maupun gaya tambahan. Berat *slice* (termasuk pengaruh vertikal seismik) adalah 31,562 kN, menghasilkan gaya normal dasar 59,649 kN dengan tegangan normal 44,168 kPa. Kapasitas geser yang tersedia pada dasar berupa gaya tahan geser 27,101 kN (tegangan 20,067 kPa), sementara gaya geser yang termobilisasi sebesar 10,543 kN (tegangan 7,8065 kPa), masih jauh di bawah kapasitas yang tersedia. Pada sisi kiri terdapat gaya normal $-28,495$ kN, sedangkan gaya geser kiri tidak dihitung. Pada sisi kanan terdapat gaya normal 15,892 kN tanpa gaya geser. Tidak terdapat pengaruh gaya seismik horizontal, *point load*, *surcharge*, ataupun gaya dari perkuatan, sehingga stabilitas *slice* sepenuhnya bergantung pada berat sendiri dan parameter kekuatan tanah. Penutupan poligon menghasilkan total gaya 7,7601 kN, dengan koordinat geometri mencakup titik atas kiri (7,9614883; 22 m), atas kanan (8,4542265; 22 m), bawah kiri (7,9614883; 19,257421 m), dan bawah kanan (8,4542265; 18 m). Secara keseluruhan, kondisi *slice* berada dalam keadaan stabil, selaras dengan FoS > 1 dan kapasitas geser yang masih mencukupi.



Gambar 5. Slice 3 Metode Bishop
Sumber : Hasil Penelitian

Pada *Slice 3* dengan Metode Bishop, nilai *Factor of Safety* (FoS) yang mengacu pada analisis keseluruhan adalah 2,571, dengan parameter kuat geser tanah berupa sudut geser dalam $\phi = 14^\circ$ dan kohesi $c = 24,51$ kPa. Seluruh nilai tekanan dan gaya pori—baik air maupun udara—diasumsikan 0, sehingga tidak memberikan kontribusi terhadap gaya normal maupun gaya geser pada bidang gelincir. ketinggian muka air tanah bengawan solo > 12 meter. Geometri *slice* terdiri dari lebar 0,54548 m, *mid-height* 4,5091 m, panjang dasar 1,1551 m, serta kemiringan basis – 61,821°. Tidak ada modifikasi kekuatan (*anisotropic modifier* = 1) maupun gaya tambahan (*applied lambda* = 0). Berat *slice* (termasuk komponen vertikal seismik) adalah 46,733 kN, menghasilkan gaya normal dasar 66,433 kN dengan tegangan normal 57,512 kPa. Kapasitas geser yang tersedia adalah gaya tahan geser 44,876 kN (tegangan 38,849 kPa), sementara gaya geser mobilisasi sebesar 17,457 kN (tegangan 15,113 kPa), menunjukkan bahwa kapasitas geser tanah masih cukup tinggi dibanding gaya penggerak. Pada sisi kiri terdapat gaya normal 15,892 kN tanpa gaya geser, sedangkan pada sisi kanan terdapat gaya normal 57,311 kN tanpa gaya geser; tidak terdapat pengaruh beban horizontal, *point load*, *surcharge*, maupun beban dari perkuatan sehingga analisis sepenuhnya ditentukan oleh berat sendiri dan kekuatan tanah. Penutupan poligon memberikan resultan 9,3065 kN, dengan koordinat geometri titik batas yaitu: atas kiri (8,4542265; 22 m), atas kanan (8,9997076; 22 m), bawah kiri (8,4542265; 18 m), dan bawah kanan (8,9997076; 16,981792 m). Secara keseluruhan *slice* ini menunjukkan kondisi stabil, sejalan dengan nilai FoS yang berada jauh di atas batas minimum keamanan.

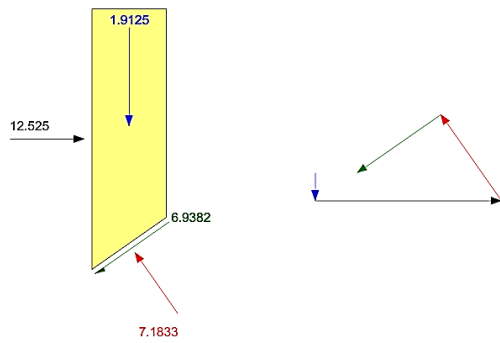


Gambar 6. Slice 4 Metode Bishop
Sumber : Hasil Penelitian

Pada *Slice 4* dalam analisis stabilitas lereng menggunakan Metode Bishop, nilai *Factor of Safety* mengacu pada hasil analisis keseluruhan, yaitu 2,571. Parameter kuat geser tanah yang digunakan adalah sudut geser dalam ϕ (tidak ditampilkan angkanya pada data, tetapi mengikuti analisis umum) serta kohesi c , sementara seluruh komponen tekanan dan gaya pori—baik air maupun udara—diasumsikan 0, sehingga tidak memberikan kontribusi terhadap gaya normal maupun geser di sepanjang bidang gelincir. ketinggian muka air tanah bengawan solo > 12 meter. Geometri *slice* terdiri dari lebar 0,54548 m, *mid-height* 5,4234 m, panjang bidang dasar 0,97681 m, dan kemiringan dasar –56,052°. Nilai *anisotropic strength modifier* = 1 dan *applied lambda* = 0 menunjukkan tidak adanya penyesuaian kekuatan tanah maupun beban tambahan. Berat *slice* (termasuk aksi vertikal seismik) mencapai 56,208 kN, menghasilkan gaya normal dasar sebesar 75,923 kN dan tegangan normal 77,725 kPa. Kapasitas geser yang tersedia berupa gaya tahan geser 42,871 kN (tegangan 43,889 kPa), sedangkan gaya geser yang termobilisasi hanya 16,677 kN (tegangan 17,074 kPa), menunjukkan bahwa kapasitas geser masih jauh lebih besar dibanding gaya penggerak. Pada sisi kiri terdapat gaya normal 57,311 kN, sementara pada sisi kanan terdapat gaya normal 103,53 kN tanpa gaya geser. tidak terdapat pengaruh beban horizontal, *point load*, *surcharge*, maupun beban dari perkuatan. Penutupan poligon menghasilkan resultan 7,6301 kN, dengan koordinat batas geometri: atas kiri (8,9997076; 22 m), atas kanan (9,5451888; 22 m), bawah kiri (8,9997076; 16,981792 m), serta bawah kanan (9,5451888; 16,171484 m). Secara umum, *Slice 4* berada dalam kondisi stabil, tercermin dari gaya penahanan yang jauh lebih besar dibanding gaya penggerak.

KOMPARASI STABILITAS LERENG PADA SAYAP JEMBATAN KARE DENGAN METODE BISHOP DAN JANBU

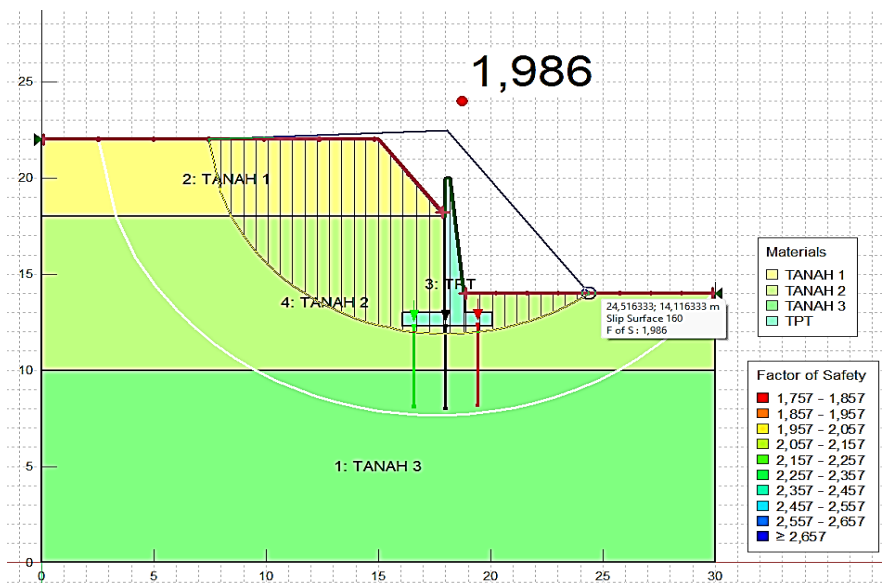
(Mohammad Zainul Ikhwan, Toni Budi Santoso, Suji'at)



Gambar 7. Slice 5 Metode Bishop
Sumber : Hasil Penelitian

Pada *Slice 5* dalam analisis stabilitas lereng menggunakan Metode Bishop, nilai *Factor of Safety* (FoS) mengacu pada hasil keseluruhan sebesar 2,571, dengan parameter kuat geser tanah berupa sudut geser dalam $\phi = 14^\circ$ dan kohesi $c = 24,51$ kPa. Tekanan pori air maupun udara tidak diperhitungkan sehingga seluruh nilai tekanan serta gaya pori tercatat 0, dan tidak memberikan kontribusi terhadap gaya normal maupun mobilisasi geser. ketinggian muka air tanah bengawan solo > 12 meter. *Slice* ini memiliki

lebar 0,53625 m, mid-height 0,18771 m, panjang dasar 0,6546 m, serta kemiringan dasar $34,995^\circ$. Tidak ada modifikasi kekuatan tanah (*anisotropic modifier* = 1) maupun beban tambahan (*applied lambda* = 0). Berat *slice* relatif kecil yaitu 1,9125 kN, namun menghasilkan gaya normal dasar 7,1833 kN dengan tegangan normal 10,974 kPa. Kapasitas geser yang tersedia berupa gaya tahan geser 17,835 kN (tegangan 27,246 kPa), sementara gaya geser termobilisasi sebesar 6,9382 kN (tegangan 10,599 kPa), menunjukkan bahwa tahanan geser masih jauh lebih besar dibanding gaya penggerak. Pada sisi kiri terdapat gaya normal 12,525 kN tanpa gaya geser, sementara pada sisi kanan gaya normal maupun geser tidak dihitung. Tidak terdapat kontribusi dari gaya seismik horizontal, *point load*, *surcharge*, ataupun beban perkuatan. Penutupan poligon menghasilkan resultan 2,8181 kN, dengan koordinat geometri *slice* meliputi: titik atas kiri (23.85375; 14 m), atas kanan (24.39; 14 m), bawah kiri (23.85375; 13.624588 m), dan bawah kanan (24.39; 14 m). *Slice 5* ini secara keseluruhan berada dalam kondisi stabil, sejalan dengan nilai FoS yang berada di atas standar keamanan dan gaya tahan geser yang jauh melampaui gaya mobilisasi.



Gambar 8. Permodelan Metode Janbu
Sumber : Hasil Penelitian

2. Hasil Permodelan Metode Janbu

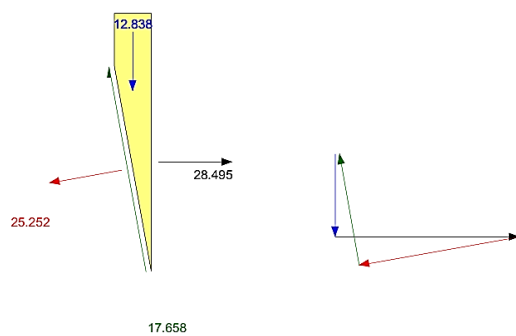
Dari permodelan menggunakan Geostudio metode Janbu didapatkan hasil sebesar 1.986.

Gambar 8. menampilkan hasil simulasi numerik untuk analisis stabilitas lereng, dengan fokus pada *Factor of Safety* (FoS) atau Faktor

Keamanan. Analisis ini menggunakan Metode Janbu. Sebuah garis putih melengkung menembus lapisan tanah 2 dan 3, menunjukkan bidang longsor kritis yang diidentifikasi sebagai jalur hipotetis di mana massa tanah paling mungkin bergerak jika terjadi keruntuhan. Pada bidang longsor ini, panah merah dan hitam yang menembus TPT dan tanah menunjukkan vektor

gaya atau analisis gaya yang terlibat.

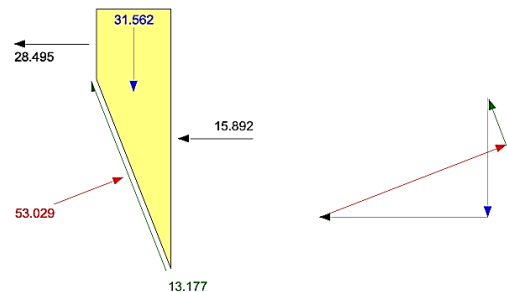
Nilai $FoS = 1.986$ dianggap aman untuk sebagian besar kondisi, karena lebih besar dari 1.0 (batas antara stabil dan tidak stabil), dan juga lebih besar dari nilai minimal yang disyaratkan oleh standar desain (misalnya, 1.3-1.5 untuk kondisi normal) dengan beban tambahan (*Surcharge Load*) 16 kN/m sesuai dengan (SNI 03-3442-1994, 2009). TPT yang didesain berhasil menstabilkan lereng pada kondisi yang dimodelkan. Dengan Faktor Keamanan 1.986, lereng dan TPT dianggap stabil terhadap keruntuhan geser pada kondisi yang dianalisis menggunakan metode Janbu. Desain tampaknya memadai dari segi stabilitas geser. Namun, analisis lebih lanjut mungkin diperlukan untuk memeriksa kondisi lain seperti stabilitas terhadap guling, daya dukung tanah di bawah pondasi TPT, atau deformasi.



Gambar 9. Slice 1 Metode Janbu
Sumber : Hasil Penelitian

Pada *Slice 1* dengan Metode Janbu, diperoleh *Factor of Safety* (FoS) sebesar 1.986, menggunakan parameter kuat geser tanah berupa sudut geser dalam $\phi = 8^\circ$ dan kohesi $c = 13.86$ kPa. Seluruh komponen tekanan dan gaya pori—baik air maupun udara—diasumsikan 0, sehingga tidak memberikan kontribusi terhadap perhitungan gaya normal maupun gaya geser. Berdasarkan data dari balai besar bengawan solo (BBWS) yang berada di kabupaten bojonegoro ketinggian muka air tanah bengawan solo > 12 meter. Secara geometris, *slice* memiliki lebar 0.49274 m, *mid-height* 1.3713 m, panjang dasar 2.7865 m, serta kemiringan bidang gelincir -79.815° , yang menunjukkan bidang yang sangat curam. Dengan *anisotropic strength modifier* = 1 dan *applied lambda* = 0, tidak terdapat penyesuaian kekuatan tanah maupun gaya eksternal tambahan. Berat *slice* adalah 12,838 kN, namun menghasilkan gaya normal dasar -25.252 kN dengan tegangan normal -9.0622 kPa, yang menandakan gaya normal berarah keluar bidang karena geometri lereng yang ekstrem. Kapasitas geser dasar ditunjukkan oleh gaya tahan geser sebesar 35,072 kN (tegangan 12,586

kPa), sedangkan gaya geser termobilisasi mencapai 17,658 kN (tegangan 6,3371 kPa), sehingga tahanan geser masih lebih besar daripada gaya penggerak. Pada sisi kanan terdapat gaya normal -28.495 kN, sementara gaya sisi kiri tidak dihitung. Tidak terdapat pengaruh dari gaya seismik horizontal, *point load* tambahan, *surcharge*, maupun beban perkuatan. Penutupan poligon menghasilkan resultan 0,71237 kN, dengan koordinat batas geometri berupa titik atas kiri (7.46875; 22 m), titik atas kanan (7.9614883; 22 m), titik bawah kiri (7.46875; 22 m), dan titik bawah kanan (7.9614883; 19.257421 m). Dengan $FoS = 1.986$, *slice* ini berada dalam kondisi cukup stabil, meskipun margin keamanannya tidak sebesar hasil metode Bishop.



Gambar 10. Slice 2 Metode Janbu
Sumber : Hasil Penelitian

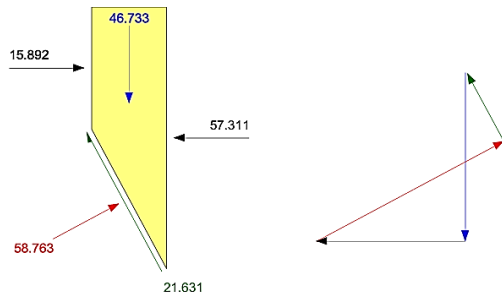
Pada *Slice 2* berdasarkan Metode Janbu, diperoleh *Factor of Safety* sebesar 1.986 dengan parameter tanah berupa sudut geser dalam (ϕ) 8° dan kohesi (c) 13.86 kPa. Tekanan maupun gaya pori air dan udara tidak diperhitungkan dalam analisis ini. Geometri irisan menunjukkan lebar slice 0.49274 m, *mid-height* 3.3713 m, panjang bidang gelincir 1.3505 m, dan kemiringan bidang -68.602° . Berat total irisan (termasuk pengaruh vertikal seismik) adalah 31.562 kN, menghasilkan gaya normal bidang dasar 53.029 kN dengan tegangan normal 39.266 kPa, ketinggian muka air tanah bengawan solo > 12 meter.

Dari kondisi ini, gaya tahan geser pada dasar *slice* mencapai 26.171 kN (tegangan tahan geser 19.378 kPa), sedangkan gaya geser mobilisasi sebesar 13.177 kN (tegangan 9.7568 kPa). Pada sisi kiri terdapat gaya normal -28.495 kN, sementara pada sisi kanan gaya normal sebesar 15.892 kN; gaya geser sisi kiri dan kanan tidak diperhitungkan. Tidak terdapat beban tambahan seperti beban horizontal, beban titik, beban perkuatan, maupun beban urugan. Nilai polygon closure untuk irisan ini adalah 0.59288 kN, menandakan keseimbangan internal yang masih dalam batas toleransi. Koordinat geometri *slice*

KOMPARASI STABILITAS LERENG PADA SAYAP JEMBATAN KARE DENGAN METODE BISHOP DAN JANBU

(Mohammad Zainul Ikhwan, Toni Budi Santoso, Suji'at)

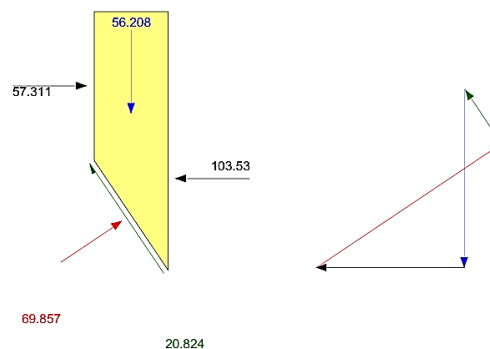
meliputi titik atas kiri (7.9614883, 22 m), titik atas kanan (8.4542265, 22 m), serta titik bawah kiri (7.9614883, 19.257421 m) dan bawah kanan (8.4542265, 18 m).



Gambar 11. Slice 3 Metode Janbu
Sumber : Hasil Penelitian

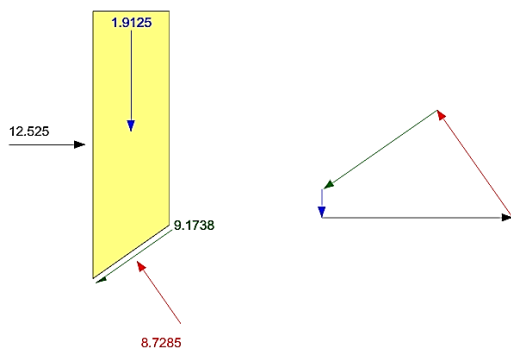
Pada *Slice 3* dengan analisis menggunakan Metode Janbu, diperoleh *Factor of Safety* berdasarkan parameter tanah berupa sudut geser dalam (ϕ) 14° dan kohesi (c) 24.51 kPa, dengan asumsi bahwa tekanan pori air maupun udara tidak diperhitungkan. Geometri irisan memiliki lebar *slice* 0.54548 m, *mid-height* 4.5091 m, panjang bidang gelincir 1.1551 m, dan kemiringan bidang dasar -61.821° . Berat total irisan termasuk pengaruh seismik vertikal mencapai 46.733 kN, menghasilkan gaya normal pada bidang dasar 58.763 kN dengan tegangan normal 50.872 kPa, ketinggian muka air tanah bangawan solo > 12 meter.

Dari kondisi ini, nilai gaya tahan geser pada bidang dasar sebesar 42.963 kN (tegangan 37.194 kPa), sementara gaya geser mobilisasi tercatat 21.631 kN (tegangan 18.727 kPa). Gaya normal pada sisi kiri adalah 15.892 kN, sedangkan pada sisi kanan meningkat menjadi 57.311 kN; gaya geser sisi kiri dan kanan tidak dihitung. Tidak terdapat beban tambahan seperti gaya horizontal, beban titik, beban perkuatan, maupun beban urugan. Nilai *polygon closure* sebesar 0.65699 kN, masih menunjukkan keseimbangan numerik yang dapat diterima dalam analisis Janbu. Koordinat geometri *slice* mencakup titik atas kiri (8.4542265, 22 m), titik atas kanan (8.9997076, 22 m), titik bawah kiri (8.4542265, 18 m), dan titik bawah kanan (8.9997076, 16.981792 m).



Gambar 12. Slice 4 Metode Janbu
Sumber : Hasil Penelitian

Pada *Slice 4* analisis stabilitas menggunakan Metode Janbu diasumsikan mengikuti hasil keseluruhan (*Factor of Safety* $FoS = 1.986$). Parameter kekuatan tanah yang dipakai adalah $\phi = 14^\circ$ dan $c = 24.51$ kPa, dengan tekanan pori air dan udara diasumsikan 0 kPa sehingga gaya pori tidak diperhitungkan. Ketinggian muka air tanah bangawan solo > 12 meter. Geometri *slice* meliputi lebar 0.54548 m, *mid-height* 5.4234 m, panjang basis 0.97681 m, dan kemiringan basis -56.052° . Tidak ada penyesuaian anisotropi (*Anisotropic Strength Mod.* = 1) dan *applied lambda* = 0. Berat *slice* (termasuk komponen seismik vertikal) adalah 56.208 kN, menghasilkan gaya normal dasar 69.857 kN dengan tegangan normal 71.516 kPa. Kapasitas geser dasar (*base shear resistance*) sebesar 41.359 kN (tegangan 42.341 kPa); nilai gaya geser yang termobilisasi tidak dicantumkan dalam data. Gaya normal sisi kiri tercatat 57.311 kN (dengan kontribusi sisi lain: *left side normal force* = 20.824 kN pada catatan terkait), sedangkan gaya normal sisi kanan 103.53 kN; gaya geser sisi kiri/kanan tidak dihitung. Tidak ada pengaruh beban horizontal seismik, *point load*, *reinforcement*, maupun *surcharge* yang digunakan. Nilai *polygon closure* = 0.49396 kN menunjukkan keseimbangan numerik yang kecil. Koordinat batas *slice* adalah: atas kiri (8.9997076; 22 m), atas kanan (9.5451888; 22 m), bawah kiri (8.9997076; 16.981792 m), dan bawah kanan (9.5451888; 16.171484 m). Secara keseluruhan, dengan kapasitas geser yang lebih besar dibanding beban penggerak dan $FoS \approx 1.986$, *slice* ini tergolong stabil pada asumsi yang diberikan.



Gambar 13. Slice 4 Metode Janbu
Sumber : Hasil Penelitian

Pada *Slice 5* analisis stabilitas lereng dengan Metode Janbu menggunakan parameter kuat geser tanah berupa sudut geser dalam $\phi = 14^\circ$ dan kohesi $c = 24,51$ kPa, sementara tekanan pori air maupun udara diabaikan sehingga tidak berkontribusi terhadap gaya dalam *slice*. Ketinggian muka air tanah bengawan solo > 12 meter. Geometri *slice* memiliki lebar 0,53625 m, *mid-height* 0,18771 m, panjang dasar 0,6546 m, serta kemiringan dasar $34,995^\circ$. Dengan tidak adanya efek anisotropi (*Anisotropic Strength Mod.* = 1) dan *applied lambda* = 0, berat *slice* (termasuk komponen seismik vertikal) adalah 1,9125 kN. Dari berat tersebut diperoleh gaya normal dasar sebesar 8,7285 kN dan tegangan normal 13,334 kPa. Kapasitas geser dasar (*base shear resistance*) mencapai 18,22 kN dengan tegangan 27,835 kPa, sedangkan gaya geser mobilisasi mencapai 9,1738 kN dengan tegangan 14,014 kPa. Gaya normal sisi kiri tercatat 12,525 kN, sedangkan gaya sisi kanan serta gaya geser sisi tidak dihitung. Tidak terdapat pengaruh beban horizontal seismik, *point load*, *surchage*, maupun gaya perkuatan. Nilai *polygon closure* = 0,12525 kN menunjukkan ketelitian numerik yang baik. Koordinat *slice* adalah: atas kiri (23.85375; 14 m), atas kanan (24.39; 14 m), bawah kiri (23.85375; 13.624588 m), dan bawah kanan (24.39; 14 m). Dengan parameter tersebut, *slice* ini berkontribusi terhadap perhitungan stabilitas lereng dengan *Factor of Safety* keseluruhan sesuai analisis Janbu.

3.2 Hasil Analisa

Hasil pembahasan penelitian studi perbandingan stabilitas lereng pada sayap jembatan Kare Kecamatan Kanor Kabupaten Bojonegoro dengan metode Janbu dan Bishop menggunakan program Geostudio 2023 diperoleh nilai faktor keamanan SF metode Bishop adalah 1,573 dan metode Janbu adalah 1,449 yang berarti nilai diatas 1,25 ($F_s > 1,25$) menunjukkan bahwa lereng tersebut dalam kondisi stabil (Aman).

Dibandingkan dengan analisis sebelumnya yang dilakukan oleh Rama Indera K, dan Enden Mina dengan judul Analisis Stabilitas Lereng dan Perencanaan *Soil Nailing* dengan *Software Geostudio 2007*. Metode yang digunakan dalam analisis adalah metode Fallenius, metode Bishop, dan metode Janbu. Analisis dilakukan menggunakan *Software Geostudio 2007*. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis stabilitas lereng di lokasi Sindangsari dan merencanakan perkuatan dengan *soil nailing*. Dari hasil analisis sebelum perkuatan soil nailing menggunakan *Software Geostudio 2007* dengan metode Fallenius didapat nilai faktor $0.732 < 1.25$ metode Bishop $0.801 < 1.25$, metode Janbu $0.726 < 1.25$ yang berarti bahaya terhadap longsor. Sedangkan dengan perkuatan soil nailing didapatkan angka faktor 1.915 > 1.25 yang berarti lereng dalam keadaan aman terhadap longsor.

4. KESIMPULAN

Melalui analisa stabilitas lereng dengan metode Bishop dan Janbu dengan Program Geostudio, maka menunjukkan bahwa :

Pada metode Janbu faktor keamanan lebih kecil dari Bishop karena Metode Janbu mengasumsikan bahwa gaya normal dan gaya geser antar irisan diperhitungkan tetapi kesetimbangan gaya tidak, dan sebaliknya juga untuk Bishop.

Tembok Penahan Tanah (TPT) jenis kantilever dengan tinggi 7 meter dan lebar 11,45 untuk perkuatan lereng melalui program Geostudio menghasilkan stabil dari bahaya keruntuhan (Aman).

Perhitungan metode Bishop didapatkan hasil sebesar $S_f = 2,571$ dan metode Janbu sebesar $S_f = 1,986$ dengan nilai faktor keamanan $S_f = 1,25$ yang artinya lereng tersebut stabil dari bahaya keruntuhan (Aman).

5. SARAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka diperoleh saran penelitian yaitu perlu dilakukan penelitian menggunakan metode analisis lain dan dengan data yang terbaru agar memperoleh hasil yang lebih konkrit.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alok, A. (2024). *A Generalized Limit Equilibrium-Based Platform Incorporating Simplified Bishop, Janbu and Morgenstern-Price Methods for Soil Slope Stability Problems.pdf*.
- Amri, N., Dharmawansyah, D., & Hermansyah Hermansyah. (2021). Perbandingan Metode Bishop dan Janbu dalam Analisis

KOMPARASI STABILITAS LERENG PADA SAYAP JEMBATAN KARE DENGAN METODE BISHOP DAN JANBU

(Mohammad Zainul Ikhwan, Toni Budi Santoso, Suji'at)

- Stabilitas Lereng pada Oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(1), 20–33. <https://doi.org/10.37253/jcep.v2i1.4393>.
- Antoniou, M., Gelagoti, F., Herzog, R., Kourkoulis, R., & Anastasopoulos, I. (2024). Offshore foundations in low-plasticity cohesive soils: Cyclic degradation experimental evidence and simplified numerical analysis. *Ocean Engineering*, 292(May 2023), 116495. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116495>
- Darmawan, M. R., Putra, P. P., & Wicaksono, L. A. (2025). Perbaikan Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah Ekspansif Dengan Stabilisasi Kimiawi Menggunakan Campuran Garam Dan Semen (Studi Kasus Kecamatan Tegaldlimo Kabupaten Banyuwangi). *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 13(1), 001. <https://doi.org/10.30742/axial.v13i1.4328>
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng Pada Tanah Residual dan Batuan. *Pedoman Konstruksi Bangunan*, 1–105.
- Fadhillah, M., & Wibowo, G. (2023). Analisis Kestabilan Lereng Timbunan Jalan Inspeksi Proyek Pembangunan Bendungan Bener Purworejo. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2023*, 257.
- Ikhwan, M. (2024). Analisis Lereng Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan TPT Pada Software Geoslope. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 6(02), 912–927. <https://doi.org/10.53863/kst.v6i02.1463>
- Kementrian PUPR, & Departemen Pekerjaan Umum. (2021). Manual Petunjuk Teknis Pengujian Tanah. *Kementrian PUPR Departemen Pekerjaan Umum*, 54.
- Raharja, D. S., & Hibatullah, M. H. (2025). Analisis Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Pre-Loading, Pvd Dan Phd Untuk Timbunan Pada Jalan Kelas I, Sumatera Barat. *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 13(1), 047. <https://doi.org/10.30742/axial.v13i1.4260>
- Rahman, D. H. I., Rachman, S., Studi, P., Geologi, T., & Trisakti, U. (2021). *STABILITAS LERENG METODE JANBU GALIAN TERBUKA PADA INLET OPEN PIT JANBU ' S METHOD SLOPE STABILITY IN DIVERSION TUNNEL*. 2, 49–53.
- Rumbyarso, Y. P. A., & Pribadi, G. (2023). Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Bishop pada Proyek Geotechnical Investigation Jalur Transportasi Pelabuhan Batubara Marangkayu Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 5(02), 562–577. <https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.987>
- Seequent. (2025). *Slope Stability Modeling*.
- Silvia, R., Syahputra, I., & Ridha, M. (2019). *Analisa Stabilitas Tebing Dengan Menggunakan Metode Bishop Berbasis Program Rocscience Slide Versi 6.020*. 489–495.
- SNI 03-3442-1994. (2009). *Kementrian Pekerjaan Umum* (Vol. 25, Nomor 2).
- Zaldi, M. A., Samal, R., Karim, N. T., & Kasmawati, K. (2023). Perbandingan Pola Gerusan Pada Pilar Jembatan Sebelum Dan Setelah Adanya Tirai Sayap Beton. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Lamappapoleonro*, 2(1), 11–18. <https://jurnal.jteksil.unipol.ac.id/index.php/home/article/view/13>