

PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN TEBING SUNGAI DI DESA SARIREJO KABUPATEN BOJONEGORO

Wahyu Nursamhuda^{1,*}, Anisa Nur Rakhmawati², Hendrik Richard³

Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas cipta wacana malang^{1,2,3}

Email: wahyunursamhuda89@gmail.com¹, annisnurma@gmail.com², hendrikrichard@cwcu.ac.id³

ABSTRAK

Ketidakstabilan tebing sungai di Desa Sarirejo, Kabupaten Bojonegoro, menjadi ancaman serius bagi keamanan pemukiman warga di sekitarnya. Hasil verifikasi stabilitas lereng eksisting menggunakan metode Bishop menunjukkan bahwa tebing berada dalam kondisi tidak stabil dengan nilai faktor keamanan yang tidak memenuhi syarat ($Factor\ of\ Safety < 1,50$) pada tujuh titik penampang yang ditinjau. Penelitian ini bertujuan untuk merancang desain bangunan pengaman tebing sungai yang komprehensif guna memitigasi risiko longsor. Metodologi penelitian menggunakan pendekatan analisis numerik hibrida, di mana pemodelan statik struktur utama dilakukan dengan perangkat lunak StaadPro V8i, yang kemudian dikombinasikan dengan perangkat lunak GEO5 untuk verifikasi stabilitas lereng dan perhitungan kapasitas dukung sub-struktur. Analisis dilakukan melalui tiga skenario pembebanan utama, yaitu kondisi normal (C1), kondisi banjir (C2) dan kondisi penurunan muka air cepat atau *rapid drawdown* (C3) dengan mengacu pada standar SNI 1727:2020 dan SNI 8460:2017. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lendutan maksimum terbesar terjadi pada kondisi *rapid drawdown* sebesar 10,89 mm. Namun, melalui penerapan desain struktur hibrida yang terdiri dari dinding penahan tanah tipe counterfort, pondasi pancang mini pile 25x25 cm, dan perkuatan *Flat Concrete Sheet Piles* (FCSP), seluruh komponen struktur dinyatakan aman karena memiliki kapasitas dukung yang melebihi beban kerja yang terjadi. Secara keseluruhan, desain pengaman tebing ini dinyatakan efektif dan memenuhi kriteria keamanan teknis untuk melindungi kawasan bantaran sungai di Desa Sarirejo.

Kata kunci : tebing sungai; stabilitas lereng; dinding penahan tanah; *rapid drawdown*.

ABSTRACT

Riverbank instability in Sarirejo Village, Bojonegoro Regency, poses a significant threat to the safety of nearby residential areas. Initial verification of the existing slope stability using the Bishop method indicates that the slopes are in an unstable condition, with a Factor of Safety (FoS) below the required 1.50 across seven reviewed cross-sections. This research aims to design a comprehensive riverbank protection construction to mitigate landslide risks. The research methodology employs a hybrid numerical analysis approach, where static modeling of the main structure is performed using StaadPro V8i software, combined with GEO5 software for slope stability verification and sub-structure bearing capacity calculations. The analysis was conducted under three primary loading scenarios: normal conditions (C1), flood conditions (C2) and rapid drawdown conditions (C3), referring to the SNI 1727:2020 and SNI 8460:2017 standards. The results show that the maximum displacement occurs during the rapid drawdown scenario, reaching 10.89 mm. However, through the implementation of a hybrid structural design—comprising counterfort retaining walls, 25x25 cm driven minipiles, and Flat Concrete Sheet Piles (FCSP)—all structural components are declared safe as their bearing capacities exceed the occurring work loads. Overall, this riverbank protection design is effective and meets technical safety criteria for protecting the riverside area in Sarirejo Village.

Keywords : riverbank; slope stability; retaining wall; *rapid drawdown*.

1. PENDAHULUAN

Permasalahan stabilitas tebing sungai merupakan tantangan serius dalam infrastruktur keairan, terutama pada wilayah sungai dengan fluktuasi muka air yang ekstrem seperti di

Kabupaten Bojonegoro. Di Desa Sarirejo, kondisi eksisting tebing sungai menunjukkan kerentanan yang tinggi terhadap kegagalan lereng. Hasil verifikasi awal menggunakan metode Bishop mengonfirmasi bahwa stabilitas tebing pada tujuh

titik penampang (P1 hingga P7) berada dalam kategori tidak aman dengan nilai faktor keamanan (*Factor of Safety*) yang tidak memenuhi syarat minimum 1,50. Ketidakstabilan ini mengancam pemukiman warga dan infrastruktur di sepanjang bantaran sungai, sehingga memerlukan penanganan teknis melalui perancangan bangunan pengaman tebing yang tepat.



Gambar 1. Visualisasi Citra Udara Lokasi Penelitian
Sumber: Survei Lapangan

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kecepatan penurunan tekanan air pori sangat memengaruhi keandalan prediksi kestabilan lereng. Eduardo E., dkk. (2016) menyatakan bahwa pendekatan aliran deformasi terhubung memberikan hasil perhitungan tekanan air pori yang lebih akurat untuk skenario *rapid drawdown* dibandingkan analisis sederhana. Selain itu, stabilitas lereng juga dipengaruhi oleh laju dan kedalaman drawdown serta resistansi material terhadap permeabilitas. Studi lain oleh Binaya Raj Pandey, dkk. (2023) menunjukkan bahwa analisis menggunakan *Finite Elemen Method* (FEM) cenderung memberikan hasil yang lebih konservatif dibandingkan

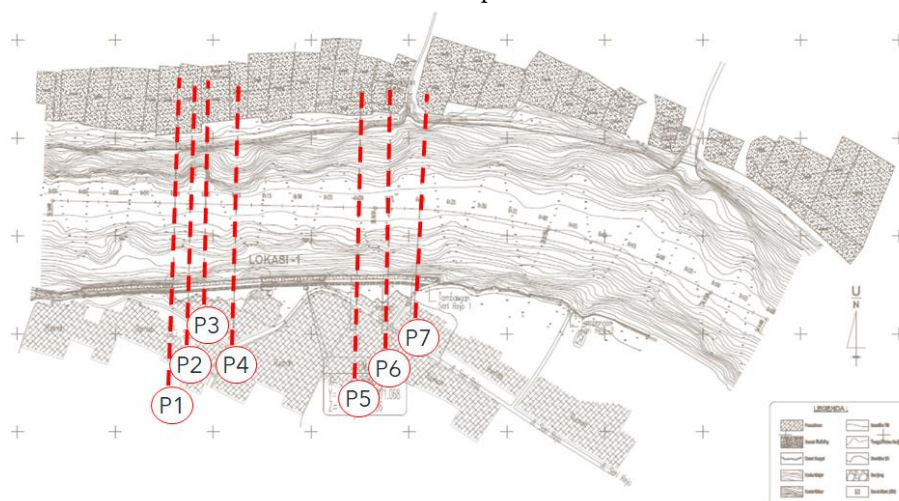
metode kesetimbangan batas (LEM) dalam mengevaluasi faktor keamanan lereng selama fase *drawdown*.

Kompleksitas interaksi struktur dengan tanah memerlukan penggunaan perangkat lunak numerik dalam desain. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan software StaadPro V8i yang digunakan untuk menganalisis kestabilan struktur dan GEO5 untuk memverifikasi geoteknik. Desain menggabungkan tiga elemen yaitu dinding penahan tanah tipe *counterfort*, pondasi pancang *mini pile* dan perkuatan tebing menggunakan *Flat Concrete Sheet Pile* (FCSP). Desain dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1727:2020 dan SNI 8460:2017.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan memverifikasi kekuatan desain bangunan pengaman tebing sungai di Desa Sarirejo agar mampu memberikan perlindungan optimal dalam berbagai skenario pembebanan, meliputi kondisi normal (C1), kondisi banjir (C2) dan kondisi *rapid drawdown* (C3). Melalui integrasi analisis numerik dan data geoteknis lapangan, diharapkan hasil perancangan ini dapat dinyatakan aman secara teknis untuk memitigasi risiko longsor di lokasi tersebut.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis numerik hibrida untuk merancang dan memverifikasi stabilitas bangunan pengaman tebing sungai. Tahapan penelitian dimulai dengan pengumpulan data geoteknik lapangan untuk menentukan parameter stratigrafi tanah di Desa Sarirejo, Bojonegoro. Berdasarkan data borelog, parameter tanah yang digunakan meliputi lapisan lempung plastisitas sedang (CL/CI) dengan berat isi (γ) sebesar 21 kN/m³, kohesi (c) 8 kPa dan sudut gesek dalam (ϕ) 17°. Seluruh kriteria perancangan geoteknik dan daya dukung tanah mengacu pada standar SNI 8460:2017.



Gambar 2. Layout Lokasi Penelitian

Sumber: Hasil Desain

Tabel 1. Parameter Tanah yang diaplikasikan ke Pemodelan

Kedalaman	Deskripsi	Warna	N-SPT
0 – 4 m	Lanau lempungan	Coklat	5
4 – 9 m	Lanau lempung pasir	Coklat	5
9 – 17 m	Lanau lempung pasir	Hitam	16
17 – 25 m	Lanau lempung pasir	Abu-abu	39
25 – 30 m	Lanau lempungan	Abu-abu	20

Sumber: Hasil Pengujian Borlog

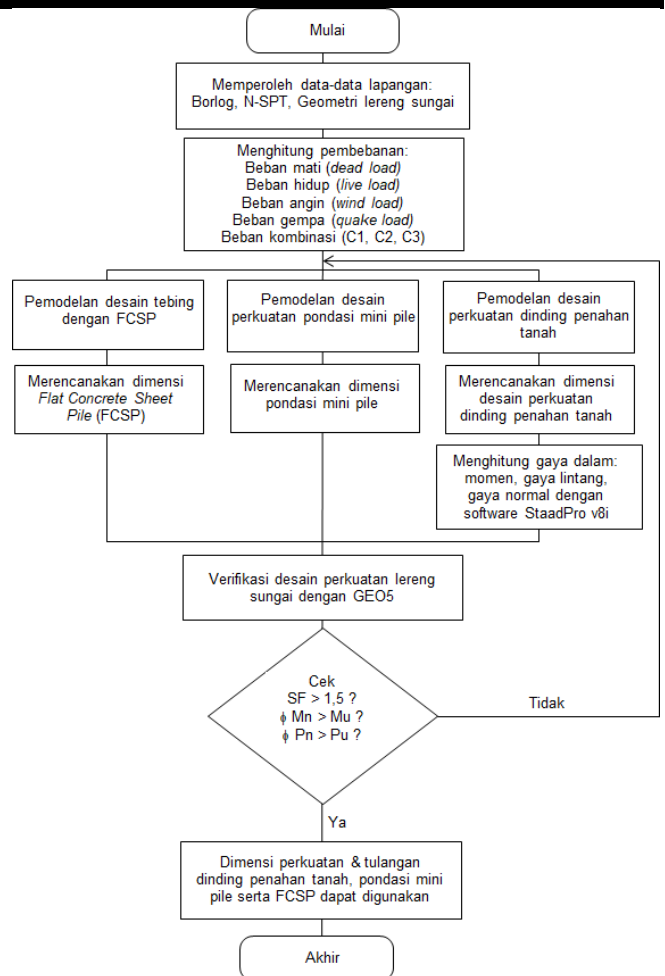
Analisis struktur dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu analisis statik struktur atas (*main structure*) dan analisis struktur bawah (*sub structure*). Perhitungan struktur atas dilakukan menggunakan perangkat lunak StaadPro V8i untuk mengevaluasi respon dinding penahan tanah tipe counterfort terhadap berbagai beban kerja. Komponen pembebanan yang diterapkan meliputi:

- Beban mati (*dead load*)
- Beban hidup (*live load*)
- Beban angin (*wind load*)
- Beban gempa (*quake load*)

Kombinasi pembebanan disusun mengikuti standar SNI 1727:2020, mencakup kombinasi beban tetap dan beban sementara untuk menjamin keamanan struktur dalam berbagai kondisi operasional.

Analisis struktur bawah dan verifikasi stabilitas lereng menggunakan GEO5 dilakukan melalui evaluasi tiga skenario kondisi lingkungan berbeda yaitu:

- Kondisi Normal (C1) yaitu menilai stabilitas lereng eksisting berdasarkan distribusi beban statis dan tekanan air pori alami.
- Kondisi Banjir (C2) yaitu menganalisis pengaruh kenaikan muka air sungai yang meningkatkan tekanan hidrostatik dan tekanan air pori, sehingga berpotensi menurunkan kekuatan geser tanah.
- Kondisi Penurunan Cepat (C3) yaitu meninjau kondisi paling kritis saat terjadi penurunan level air secara cepat yang mengakibatkan perubahan tekanan air pori secara mendalam dalam waktu singkat.

**Gambar 3.** Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan diagram alir untuk menjelaskan alur penelitian secara sistematis dan terstruktur sesuai dengan tujuan dan metode yang telah ditetapkan. Tahap pertama mencakup pengumpulan data lapangan (data borlog, nilai N-SPT, geometri lereng sungai) dan perhitungan pembebanan (beban mati, hidup, angin, gempa dan kombinasi beban). Tahap kedua melakukan pemodelan desain perkuatan lereng melalui tiga alternatif yaitu *Flat Concrete Sheet Pile* (FCSP), pondasi pancang *mini pile* dan dinding penahan tanah. Setiap alternatif dirancang dan dianalisis kapasitas strukturnya menggunakan perangkat lunak StaadPro V8i (untuk dinding penahan tanah). Tahap ketiga memverifikasi seluruh alternatif desain menggunakan GEO5 melalui tiga evaluasi diantaranya sebagai berikut:

- Faktor keamanan lereng ($SF > 1,5$)
- Kapasitas lentur-aksial ($Mn > Mu$)
- Kapasitas aksial ($Pn > Pu$)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

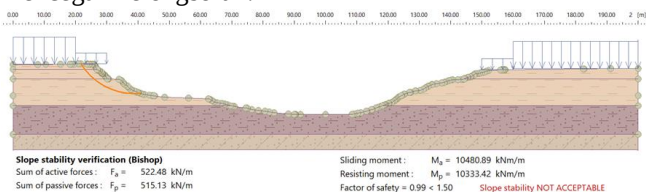
Dalam bagian ini, hasil analisis teknis yang telah dilakukan dipaparkan dan dijelaskan melalui tiga aspek utama:

- Analisis stabilitas lereng eksisting.
- Analisis respon statik struktur bangunan pengamanan tebing.
- Verifikasi kapasitas dukung sub-struktur pada berbagai skenario pembebanan.

Analisis dilakukan dengan mengintegrasikan dua software yang digunakan yaitu StaadPro V8i Connect Edition untuk pemodelan elemen struktur dan GEO5 untuk memverifikasi stabilitas geoteknik. Seluruh parameter desain dievaluasi berdasarkan kriteria keamanan yang ditetapkan dalam standar nasional yang relevan.

A. Analisis Stabilitas Lereng Eksisting

Verifikasi awal terhadap kondisi tebing sungai di Desa Sarirejo dilakukan pada tujuh penampang melintang (P1 hingga P7) menggunakan metode Bishop. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seluruh penampang berada dalam kondisi tidak stabil (*not acceptable*) karena nilai *Factor of Safety* (FoS) berada di bawah ambang batas minimum 1,50. Pada potongan P1, nilai momen guling (M_A) sebesar 10.480,90 kNm/m melebihi momen penahan (M_P) sebesar 10.333,42 kNm/m. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kapasitas daya dukung tanah penahan lereng sungai telah terlampaui, sehingga diperlukan penguatan struktural untuk mencegah kelongsoran.



Gambar 4. Verifikasi Stabilitas Lereng Eksisting

Sumber: Hasil Pemodelan GEO5

Tabel 2. Rekapitulasi Stabilitas Lereng Eksisting

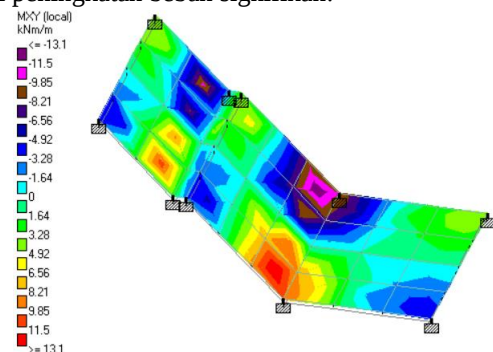
Potongan	F_A (kN)	F_P (kN)	M_A (kNm)	M_P (kNm)	Hasil
P1	522,48	515,13	10480,9	10333,43	tak ok
P2	66,92	56,16	379,46	318,40	tak ok
P3	51,54	50,83	288,09	284,12	tak ok
P4	222,52	228,52	2436,62	2502,33	tak ok
P5	395,80	570,40	7939,83	11442,15	tak ok
P6	328,26	396,01	4871,38	5876,82	tak ok
P7	35,47	37,76	114,93	122,35	tak ok

Sumber: Hasil Perhitungan GEO5

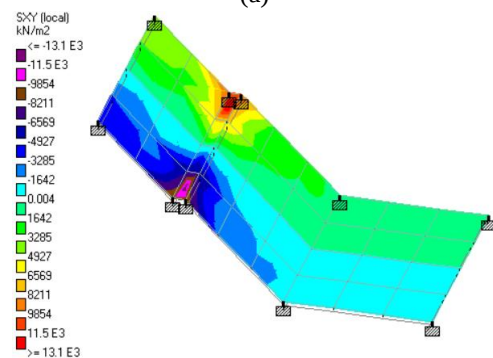
B. Respon Statik Struktur Utama

Struktur pengamanan tebing dirancang menggunakan dinding penahan tanah tipe *counterfort*. Struktur ini dievaluasi terhadap tiga skenario beban utama untuk memastikan keamanan dan kelayakan desain yaitu kondisi normal (C1), kondisi banjir (C2) dan kondisi penurunan air cepat (C3). Komponen pembebanan yang diterapkan mencakup beban mati, tekanan tanah lateral, beban hidup serta beban angin. Analisis respons spektrum desain dilakukan untuk memperhitungkan pengaruh pembebanan gempa pada kekuatan struktur di lokasi penelitian.

Evaluasi kinerja dinding penahan tanah menggunakan StaadPro V8i menunjukkan bahwa kondisi C3 (*rapid drawdown*) adalah kondisi pembebanan paling kritis. Hasil evaluasi menunjukkan perbandingan lendutan maksimum pada kondisi C1 (1,28 mm) dan kondisi C2 (1,78 mm). Namun lendutan meningkat drastis pada kondisi C3 mencapai 10,89 mm (*node 13*). Selain itu, momen lentur maksimum (M_z) meningkat signifikan pada kondisi C1 (47,82 kNm) dan kondisi C3 (246,32 kNm). Meskipun beban meningkat signifikan pada kondisi pembebanan ekstrem (C3), hasil evaluasi penulangan menunjukkan kapasitas penampang yang masih memadai meskipun terjadi peningkatan beban signifikan.



(a)



(b)

Gambar 5. Luaran data kondisi C3: (a) Momen arah XY, (b) Gaya Geser arah XY

Sumber: Hasil Pemodelan StaadPro v8i connect edition

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Analisa Dinding Penahan Tanah

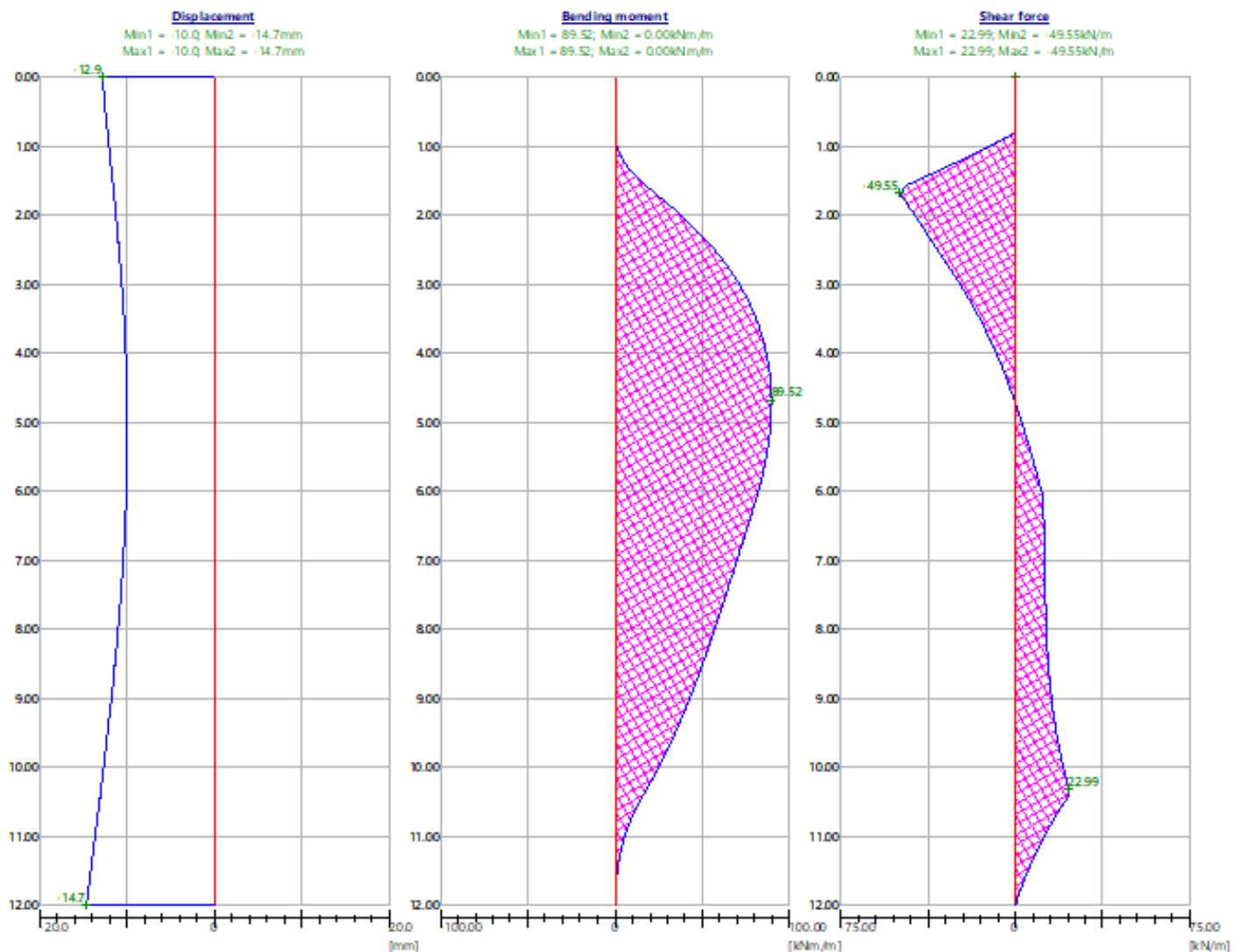
Uraian	Beban/ Kombinasi Dasar	C1	C2	C3
Lendutan (max Rs)	1,2DL+1,6LL	1,28 mm	1,78 mm	10,81 mm
Max Fx	1,2DL+1,6LL	47,49 kN	63,88 kN	750,71 kN
Max Fy	1,2DL+1,6LL	77,74 kN	108,47 kN	525,50 kN
Max Fz	1,2DL+1,6LL	22,25 kN	28,13 kN	433,08 kN
Max Mx	1,2DL+1,6LL	13,78 kNm	15,44 kNm	44,06 kNm
Max My	1,2DL+1,6LL	12,11 kNm	15,82 kNm	145,31 kNm
Max Mz	1,2DL+1,6LL	47,82 kNm	65,77 kNm	246,32 kNm

Sumber: Hasil Analisis StaadPro v8i Connect Edition

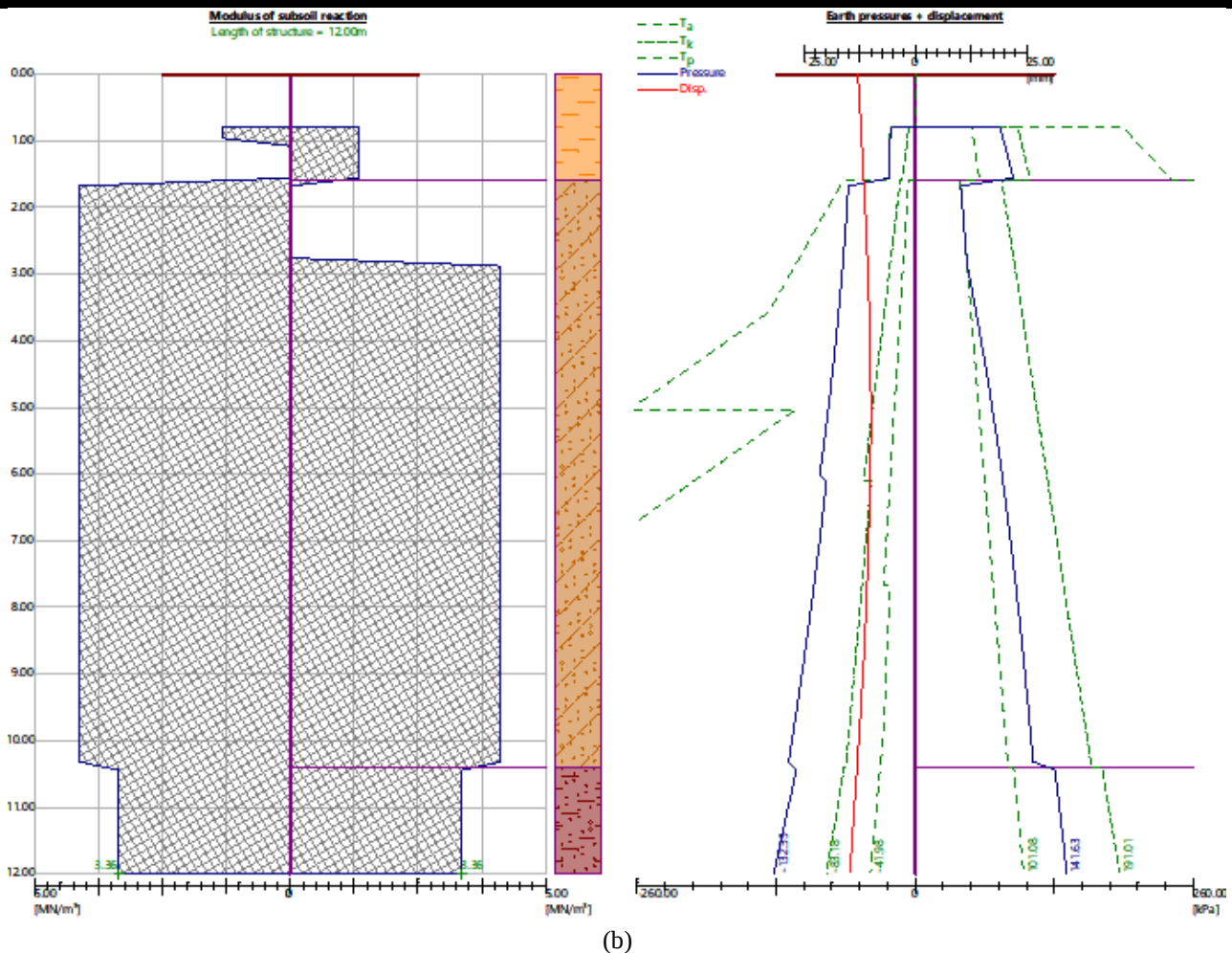
C. Verifikasi Sub Struktur dan Desain Perkuatan

Analisis struktur bawah difokuskan pada kapasitas dukung pondasi tiang pancang (25 x 25 cm) dan perkuatan tebing dengan *Flat Concrete Sheet Piles* (FCSP). Perhitungan daya dukung tiang dilakukan dengan meninjau tahanan ujung (*end*

bearing) dan gesekan dinding (*friction*). Pada kedalaman 6 meter, kapasitas dukung friksi tiang mencapai 714,30 ton, yang secara signifikan melebihi beban kerja terjadi sebesar 55,89 ton.



(a)



(b) **Gambar 4.** Luaran Data FCSP: (a) Gaya Dalam yang Terjadi, (b) Tekanan Tanah

Sumber: Hasil Pemodelan GEO5

Tabel 4. Penurunan di Lokasi Pemasangan FCSP

No	Kedalaman (meter)	Penurunan, z (mm)
1	0,00	13,8
2	1,13	18,0
3	2,26	20,9
4	3,39	22,6
5	4,52	23,6
6	5,65	22,3
7	6,78	20,3
8	7,91	17,1
9	9,04	12,6
10	10,17	6,9
11	11,30	0,0

Sumber: Hasil Perhitungan GEO5

Verifikasi menggunakan perangkat lunak GEO5 dilakukan terhadap desain *Flat Concrete Sheet Pile* (FCSP). Hasil verifikasi menunjukkan bahwa faktor keamanan tekanan

pasif tanah ($3,40 > 1,50$). Berdasarkan hasil evaluasi dan verifikasi desain, kombinasi struktur hibrida yang mengintegrasikan dinding *counterfort*, pondasi pancang *mini pile* dan *Flat Concrete Sheet Pile* (FCSP) dinyatakan sebagai solusi paling aman dan efektif untuk perkuatan tebing sungai di Desa Sarirejo.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan komprehensif dalam penelitian ini, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Analisis stabilitas lereng eksisting (P1 hingga P7) di desa Sarirejo menunjukkan kondisi tidak stabil dengan nilai *Factor of Safety* (FoS) kurang dari 1,50. Temuan ini mengkonfirmasi perlunya perkuatan struktural segera untuk mencegah atau mengurangi risiko kelongsoran yang mengancam pemukiman warga.
- 2) Desain pengamanan tebing (dinding penahan tanah tipe *counterfort*, pondasi pancang *mini pile* (25x25 cm) dan diperkuat dengan *Flat Concrete Sheet Piles* (FCSP) terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas tebing sungai.

- 3) Hasil evaluasi terhadap berbagai skenario beban menunjukkan bahwa kondisi penurunan air cepat (C3) merupakan kondisi paling kritis yang menghasilkan lendutan maksimum sebesar 10,89 mm. Meskipun demikian, seluruh komponen struktur utama dan sub-struktur tetap memiliki kapasitas yang memadai untuk memikul beban tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. D. Harijanto, K. Kuntjoro, S. Saptarita, and S. K. Aziz, "Analisis Pola Hujan dan Musim di Jawa Timur Sebagai Langkah Awal Untuk Antisipasi Bencana Kekeringan," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 2, p. 95, Aug. 2012.
- [2] K. Kuntjoro, C. Anwar, P. Pudiastuti, F. D. Harijanto, and S. Sungkono, "Inisiasi Perkiraan Arah Pergerakan Alur Sungai," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 2, p. 47, Aug. 2013.
- [3] Kuntjoro, I. Saud, and D. Harijanto, "Discharge Fluctuation Effect on Meandering River Bed Evolution," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 267, no. 1, p. 12032, Nov. 2017.
- [4] I. Sa'ud and I. P. A. Wiguna, "Penentuan Alternatif Penanggulangan Genangan Akibat Peubahan Tataguna Lahan di Wilayah Surabaya," in *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVII*, 2013, p. B-6-1-B-6-8.
- [5] Bappeda Kotamadya Surabaya, "Surabaya Drainage Master Plan 2018," Surabaya, 2000.
- [6] Soewarno, *Hidrologi, Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data, Jilid 1*. Bandung: Nova, 1995.
- [7] Soedibyo, *Teknik Bendungan*, Cetakan Kedua. Jakarta: Pradnya Paramita, 2003.