



## Analisis Pengaruh Normalisasi Sungai Kemuning Terhadap Stabilitas Tanggul *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) pada Kondisi Beban Normal dan Beban Gempa<sup>1</sup>

### *Analysis of the Effect of Kemuning River Normalization on the Stability of the Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) Embankment*

Paksitya Purnama Putra<sup>a,2</sup>, Khalid Pijar Ganesha<sup>a</sup>, Luthfi Amri Wicaksono<sup>a</sup>, Rini Trisno Lestari<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jalan Kalimantan No 37 Kampus Tegalboto, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Indonesia

<sup>b</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jl. Raya Lenteng Agung No.44, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia

#### ABSTRAK

Banjir yang terjadi di daerah Sampang disebabkan oleh debit banjir yang melebihi kapasitas tampung Sungai Kemuning. Salah satu upaya untuk mengatasi terjadinya luapan banjir adalah dengan meningkatkan kapasitas tampung melalui normalisasi dengan cara mengeruk sedimen pada alur sungai. Pelaksanaan normalisasi perlu mempertimbangkan dampak terhadap stabilitas tanggul CCSP (*Corrugated Concrete Sheet Pile*) eksisting yang sudah ada. Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis pengaruh normalisasi terhadap stabilitas tanggul CCSP sepanjang 500 m menggunakan program bantu berbasis elemen hingga (FEM). Penelitian terdiri dari beberapa tahap yakni analisis data tanah, analisis tiang lateral, dan analisis faktor keamanan. Berdasarkan hasil perhitungan, seluruh segmen stasioning aman untuk dilakukan normalisasi karena memiliki nilai faktor keamanan (SF) di atas SF limit yang disyaratkan SNI 8460:2017 yaitu (SF=1,5) pada kondisi normal dan (SF=1,1) pada kondisi gempa. Saat normalisasi dilakukan pada batas kedalaman elevasi dasar sungai, tanggul CCSP masih memenuhi syarat stabilitas dengan nilai SF rata-rata pada kondisi gempa sebesar SF=1,27 dan SF=2,46 pada kondisi normal. Stabilitas CCSP mencapai batasnya saat elevasi pengerukan rata-rata sedalam 4,71 m dan 5,92 m di bawah muka air normal sungai pada kondisi gempa dan tanpa gempa.

*Kata kunci: Normalisasi, Stabilitas, CCSP, Sungai Kemuning, FEM.*

#### ABSTRACT

The flood that occurred in the Sampang area was caused by the low capacity of the Kemuning River. One of the possible methods to solve flood overflow is to increase the capacity using normalization, by dredging sediments in the river channel. To carry out normalization, it is necessary to consider the impact on the stability of the existing CCSP (*Corrugated Concrete Sheet Pile*) embankment. This study is intended to analyze the impact of normalization against the stability of the CCSP embankment in 500 m long using the finite element method (FEM) program. This study consisted of several stages, namely soil data analysis, lateral pile analysis, and safety factor analysis. Based on the calculation results, all stationing segment is safe for normalization because they have an faktor keamanan (SF) value above the SF limit required by SNI 8460: 2017, that is (SF=1.5) under normal conditions and (SF=1.1) under earthquake conditions. Likewise, when normalization is carried out at the depth limit of the river bed elevation, the CCSP embankment still meets the stability requirements with an average SF value in earthquake conditions of SF=1.27 and SF=2.46 in non-earthquake

<sup>1</sup> Info Artikel: Received: 23 Januari 2024, Accepted: 21 Juni 2024

<sup>2</sup> Corresponding Author: Paksitya Purnama Putra, paksitya.putra@unej.ac.id

conditions. The stability of the CCSP reaches its limit when the average dredging depth elevation is 4.71 m and 5.92 m below the river's normal water level in earthquake and non-earthquake conditions.

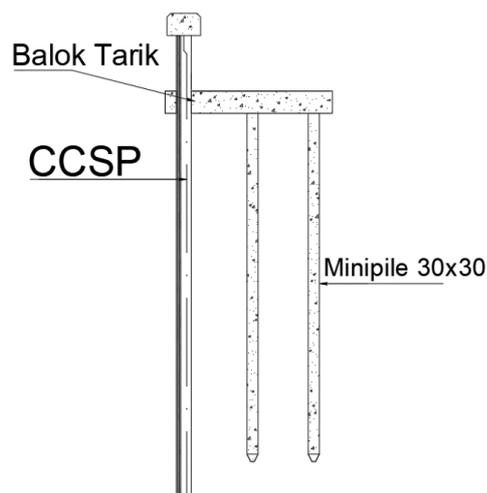
*Keywords: Normalization, Stability, CCSP, Kemuning River, FEM.*

## **PENDAHULUAN**

Sungai Kemuning terletak di Kabupaten Sampang, dengan panjang 30 km. Sungai ini merupakan sungai terpanjang yang ada di Pulau Madura (BPS JATIM, 2015). Curah hujan rata-rata di daerah hulu sungai kemuning adalah lebih dari 35 mm dengan debit banjir kala ulang 25 tahun sebesar 420 m<sup>3</sup>/dt. Tingginya curah hujan tersebut membuat Sungai Kemuning meluap setiap tahunnya karena kapasitas tampung sungai hanya sebesar 120-130 m<sup>3</sup>/dt (DPU SDA JATIM, 2019).

Banjir yang terjadi di daerah Sampang turut merendam pemukiman dan areal persawahan warga. Sehingga hal tersebut memberikan dampak terhadap aktivitas masyarakat serta ratusan hektar areal persawahan terancam gagal panen (RRI, 2020). Untuk mengatasi terjadinya luapan akibat debit banjir yang melebihi kapasitas tampung sungai, diperlukan adanya upaya pengendalian banjir salah satunya dengan melakukan normalisasi atau pengerukan pada alur sungai (PUPR, 2017). Pengerukan alur sungai dimaksudkan untuk memperbesar penampang dengan merelokasi sedimen sehingga kapasitas tampung sungai dapat meningkat serta aliran sungai menjadi lebih lancar.

Upaya pengendalian banjir dengan pengerukan perlu memperhatikan kondisi stabilitas tanggul eksisting. Kebanyakan tanggul yang ada berupa turap atau talud yang terbuat dari batu kali. Namun, di Sungai Kemuning, tanggul yang digunakan terbuat dari material CCSP (Corrugated Concrete Sheet Pile). CCSP adalah dinding penahan tanah yang terdiri dari blok-blok beton pracetak dengan bentuk tertentu, dan digunakan dengan cara mengkaitkan satu blok dengan lainnya (Triarso, 2021). Berbeda dengan turap dan talud, Tanggul CCSP pada Sungai Kemuning ini dilengkapi dengan perkuatan lateral balok tarik dan *minipile* (Gambar 1).



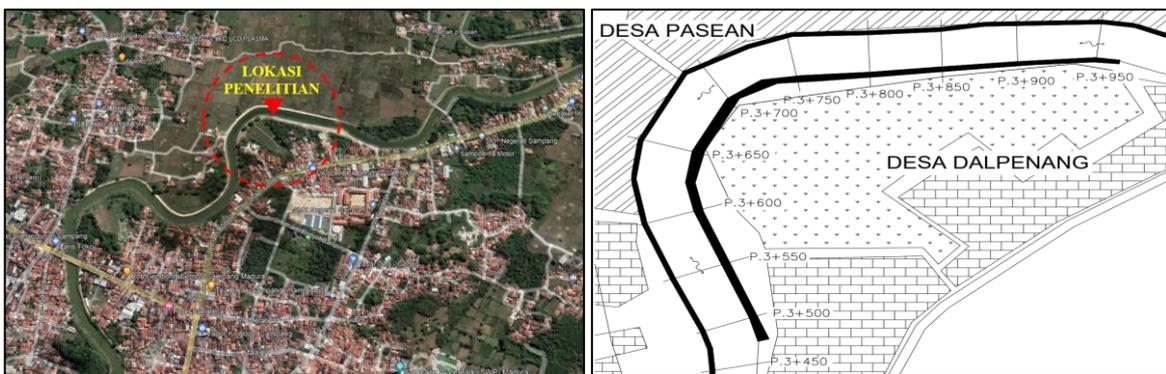
Gambar 1. CCSP dengan perkuatan lateral balok tarik dan minipile

Tanggul CCSP termasuk sebagai jenis dinding penahan tanah tertanam (*embedded walls*) yang stabilitasnya diperoleh dari adanya tahanan pasif tanah (Maharani, 2022). Oleh sebab itu perubahan kedalaman yang diakibatkan oleh normalisasi pengerukan sungai akan berdampak pada stabilitas tanggul CCSP yang sudah ada. Penelitian mengenai stabilitas desain tanggul CCSP telah dilakukan dalam beberapa analisis yang telah dipublikasikan dalam beberapa tahun ini. Jumadi (2024) menganalisis hasil desain stabilitas CCSP yang dipergunakan sebagai penahan timbunan jalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CCSP dapat meningkatkan stabilitas timbunan jalan hingga 3,7 kali lipat beban yang dibutuhkan. Penelitian CCSP dalam penggunaannya sebagai tanggul pasang surut banjir air laut juga dilakukan oleh Utomo (2022) yang menunjukkan bahwa desain menggunakan CCSP dapat dijadikan prioritas ke-2 setelah perkuatan minipile apabila dilihat dari beberapa aspek.

Penelitian ini memberikan peluang untuk mengeksplorasi pengaruh normalisasi Sungai Kemuning terhadap stabilitas Tanggul CCSP pada kondisi beban normal dan beban gempa. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam mengetahui pengaruh perubahan faktor keamanan desain CCSP akibat berkurangnya tekanan pasif (lumpur sungai) pada dinding CCSP dengan menjabarkan pentingnya peranan tekanan pasif struktur bangunan CCSP.

## METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di Sungai Kemuning tepatnya di Desa Dalpenang, Sampang, Madura (Gambar 2). Untuk melakukan analisis pengaruh normalisasi terhadap stabilitas tanggul CCSP menggunakan program bantu FEM (Geoslope – Slope/W) diperlukan data sekunder berupa data hasil penyelidikan tanah dan potongan melintang penampang sungai sepanjang 500 m, *layout stasioning* posisi tanggul CCSP di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 .



**Gambar 2** Lokasi penelitian dan Layout Tanggul CCSP

Parameter data tanah yang digunakan dalam perhitungan meliputi berat volume tanah ( $\gamma$ ), sudut geser tanah ( $\phi_{\text{soil}}$ ), kohesi ( $C$ ), sudut geser tanah dengan struktur dinding penahan tanah ( $\phi_{\text{soil-struc}}$ ), berat volume tanah terendam ( $\gamma_{\text{sat}}$ ), dan angka poisson ( $V$ ). Parameter tanah tersebut diperoleh melalui korelasi sesuai nilai N-SPT dan jenis tanah yang ada di lokasi penelitian dengan parameter korelasi (Benbouras, 2018). Hasil korelasi ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter data tanah

Kedalaman (m)	Tipe Tanah	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ soil (°)	C (Kpa)	$\phi$ struc-soil (°)	$\gamma$ sat (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$
0 - 1	Sandy Clay	16	27	19,61	18	16,62	0,2
1-5	Sandy Clay	16	32	0	21,33	18,12	0,2
5-17	Clay	17,04	20	24,52	13,33	20,14	0,4
17-19	Sandy Clay	17,33	27	19,61	18	20,71	0,2
19-20	Clay	18,22	20	39,23	13,33	20,2	0,4

Jenis tanah yang ada di lokasi penelitian didominasi oleh tanah lempung dan lempung pasir. Kondisi demikian memungkinkan sebab lokasi penelitian berada di daerah pesisir Pulau Madura yang didominasi oleh endapan dari formasi aluvium yang tersusun oleh material pasir (Febriarta et al., 2022).

### Tiang Lateral

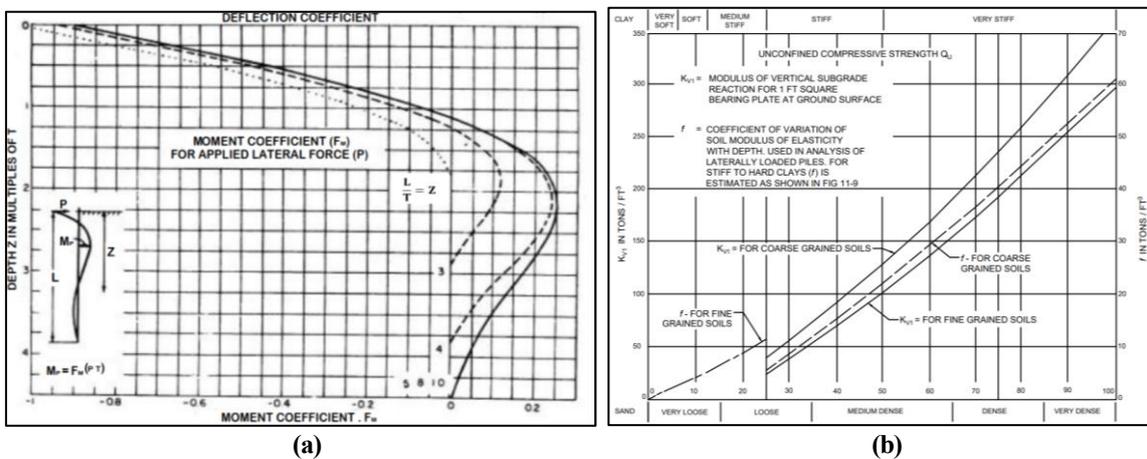
Dikarenakan program bantu FEM tidak mengakomodir bentuk perkuatan tambahan berupa balok tarik dan *minipile* pada permodelannya, maka dilakukan perhitungan tiang lateral untuk mengetahui nilai gaya horizontal ( $P_{maks}$ ) yang mampu ditahan oleh struktur perkuatan lateral balok tarik dan *minipile*. Nilai  $P_{maks}$  digunakan sebagai representasi dari kekuatan balok tarik dan *minipile* yang dimodelkan pada tipe angkur *deadman*. Nilai kekuatan gaya horizontal maksimal ( $P_{maks}$ ) diperoleh dari Persamaan 1 yang mengacu pada NAVFAC DM.7 (Kamila, 2024) yaitu :

$$P_{maks} = \frac{M_p}{FM.T} \quad (1)$$

$M_p$  adalah nilai dari momen lentur bahan yang diperoleh dari spesifikasi pada brosur material, FM adalah koefisien momen gaya lateral yang diperoleh dari grafik, nilai FM (Gambar 3), dan T adalah faktor kekakuan relatif. Faktor kekakuan relatif dihitung dengan menggunakan persamaan 2:

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{1/5} \quad (2)$$

E merupakan modulus elastisitas bahan, I adalah inersia penampang, dan f adalah koefisien variasi modulus tanah yang diperoleh dari grafik nilai f terhadap  $q_u$  (Gambar 3).



Gambar 3 (a) Grafik nilai FM, (b) Grafik Nilai f (Kamila, 2024)

## Permodelan Perhitungan Stabilitas Eksisting

Perhitungan stabilitas awal tanggul CCSP dilakukan untuk mengetahui keamanan pelaksanaan normalisasi. Normalisasi dinyatakan aman dan dapat dilakukan apabila tanggul CCSP memiliki nilai faktor keamanan (SF) diatas nilai faktor keamanan batas pada kondisi normal dan gempa. Pada tahap ini permodelan dan perhitungan dilakukan dengan program FEM sesuai dengan karakteristik tanggul CCSP dan bentuk penampang sungai pada masing-masing segmen stasioning.

### Faktor Keamanan Batas

Setelah dinyatakan aman, dilakukan simulasi pengerukan sungai dengan program bantu berbasis FEM. Simulasi pengerukan dilakukan dengan interval kedalaman setiap 1 m. Pengerukan dihentikan apabila faktor keamanan tanggul mencapai batasnya (SF limit). Angka faktor keamanan batas mengacu pada SF minimal stabilitas dinding penahan tanah SNI 8460:2017 yaitu  $SF = 1,5$  saat kondisi normal tanpa gempa, dan  $SF = 1,1$  saat dipengaruhi oleh koefisien gempa.

## HASIL PEMBAHASAN

### Kekuatan Balok Tarik Dan Minipile

Pemodelan stabilitas CCSP dengan perkuatan *deadman* menggunakan program bantu FEM, membutuhkan besaran nilai gaya tarik dari *deadman* tersebut. Perkuatan balok tarik pada tanggul CCSP sungai kemuning merupakan Model *deadman* pada program bantu FEM tersebut. Oleh karena itu, perhitungan kekuatan balok tarik dan minipile diperlukan untuk diketahui pertama kali sebelum memasuki tahap pemodelan.

Perhitungan  $P_{maks}$  dilakukan pada titik pertemuan (*joint*) antara struktur balok tarik dan minipile. Dimensi penampang minipile berukuran 30 x 30 cm, dengan modulus elastisitas (E) sebesar 100000 kg/cm<sup>2</sup> dan momen lentur bahan 6,52 tm. Karena jenis tanah tergolong tanah yang lunak. maka digunakan nilai  $C_u$  tanah dasar sebesar 0,25 kg/cm<sup>2</sup>. Untuk *minipile* dengan penampang 30 x 30 cm memiliki nilai inersia (I) sebesar

$$I = 67500 \text{ cm}^4$$

Nilai koefisien dari variasi modulus tanah (f) dipengaruhi oleh nilai  $q_u$  yang dihasilkan dari dua kali nilai  $C_u$ , sehingga diperoleh

$$q_u = 0,517 \text{ ton/ft}^2$$

Nilai  $q_u$  diplot pada grafik hubungan nilai f dan  $q_u$ , kemudian diperoleh

$$f = 6 \text{ ton/ft}^3$$

$$f = 0,192 \text{ kg/cm}^3$$

Menghitung faktor kekakuan relatif (T)

$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$T = \left( \frac{(10000 \times 67500)}{0,192} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$T = 128,588 \text{ cm}$$

Momen Lentur yang bekerja pada *minipile* ( $M_p$ )

$$M_p = 6,52 \text{ tm}$$

$$M_p = 591484,448 \text{ kg.cm}$$

Mecari nilai  $F_M$  dari grafik hubungan  $L/T$ . Nilai  $L$  yang ditinjau berada di titik pertemuan balok tarik dengan *minipile* sehingga

$$L = 0 \text{ cm}$$

$$L/T = 0/128,588$$

$$L/T = 0$$

$$F_M = -1$$

Menghitung kekuatan *minipile* dalam menahan gaya horizontal maksimal ( $P_{max}$ )

$$P_{Max} = \frac{M_p}{(F_M \times T)}$$

$$P_{Max} = \frac{591484,448}{(-1 \times 128,588)}$$

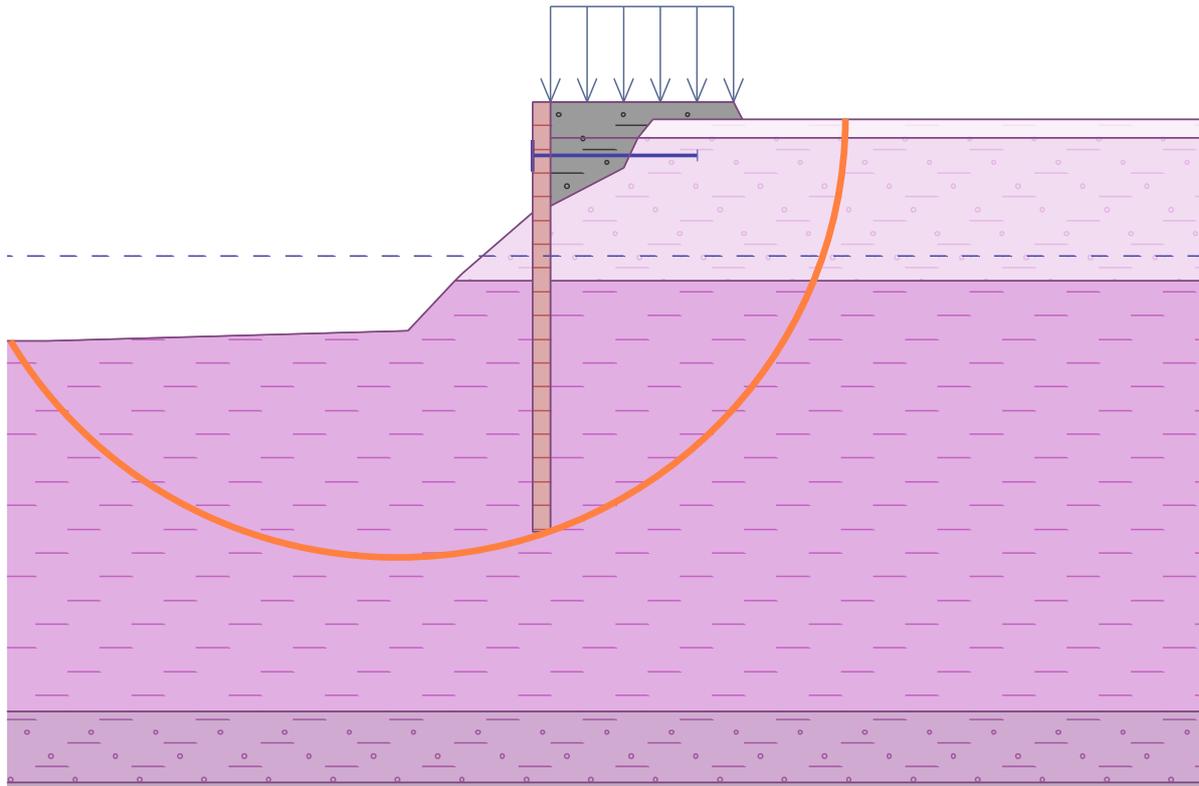
$$P_{Max} = -4599,841 \text{ kg}$$

$$P_{Max} = -45,109 \text{ kN}$$

Karena *minipile* yang digunakan ada dua buah maka gaya yang nantinya diinputkan pada angkur tipe *deadman* sebesar dua kali gaya horizontal maksimal *minipile* yaitu:  $2 \times 45,109 \text{ kN} = 90,218 \text{ kN}$ . Sehingga gaya yang diinputkan pada *deadman* sebesar  $90,218 \text{ kN}$

### Stabilitas Eksisting Tanggul CCSP

Perhitungan stabilitas eksisting tanggul CCSP dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (SF) pada masing-masing segmen stasioning (STA 3+450 s/d STA 3+950) sebelum adanya simulasi pengerukan sungai.



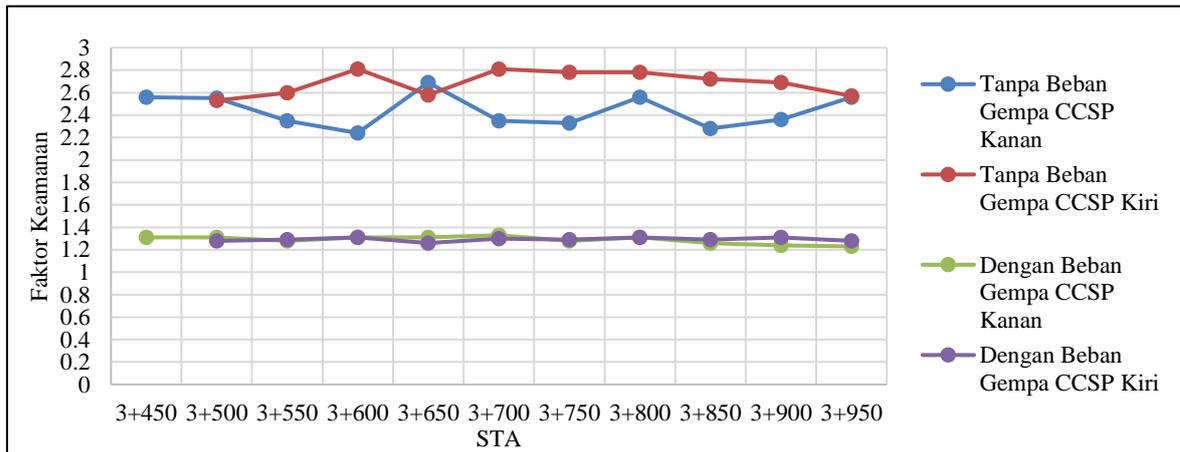
Gambar 4 Permodelan dan perhitungan stabilitas dengan FEM (Geoslope – Slope/W)

Perhitungan stabilitas dilakukan dengan menggunakan program bantu berbasis elemen hingga pada masing-masing segmen stasioning pada sisi kiri dan kanan serta kondisi normal dan gempa (Gambar 4). Khusus untuk STA 3+450 perhitungan hanya dilakukan pada sisi kanan karena tanggul hanya berada di bagian kanan sungai. Hasil luaran perhitungan FEM ditampilkan berupa nilai tekanan tanah aktif (FA), nilai tekanan tanah pasif (FP), momen gelincir (MA), momen tahanan (MP), dan faktor keamanan (SF). Rekapitulasi faktor keamanan ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 5.

Tabel 2 Stabilitas CCSP pada Kondisi Normal dan dengan Beban Gempa

STA	Faktor Keamanan			
	CCSP Kanan		CCSP Kiri	
	Normal	Gempa	Normal	Gempa
3+450	2,56	1,31	-	-
3+500	2,55	1,31	2,53	1,28
3+550	2,35	1,28	2,6	1,29
3+600	2,24	1,31	2,81	1,31
3+650	2,69	1,31	2,58	1,26
3+700	2,35	1,33	2,81	1,3
3+750	2,33	1,28	2,78	1,29
3+800	2,56	1,31	2,78	1,31

STA	Faktor Keamanan			
	CCSP Kanan		CCSP Kiri	
	Normal	Gempa	Normal	Gempa
3+850	2,28	1,26	2,72	1,29
3+900	2,36	1,24	2,69	1,31
3+950	2,56	1,23	2,57	1,28



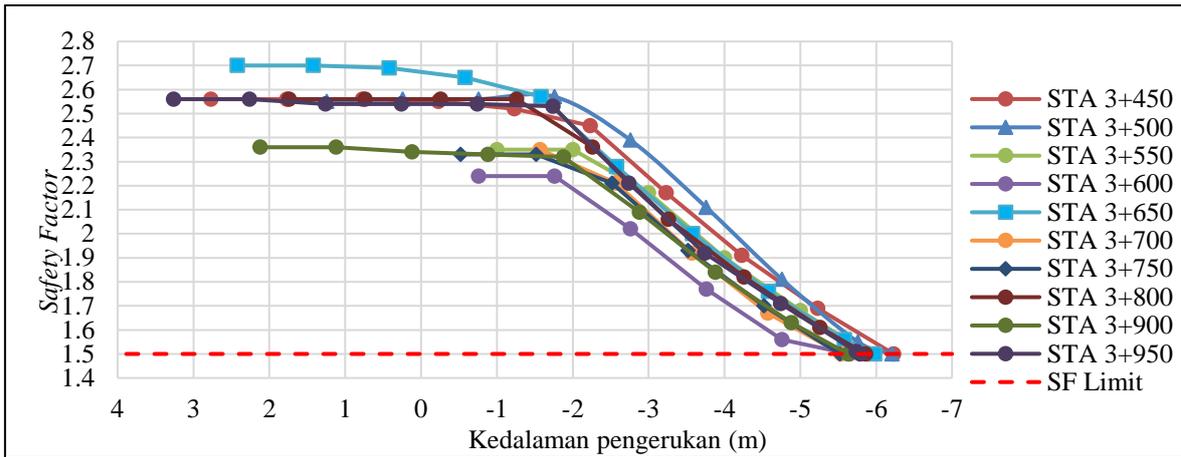
Gambar 5. Stabilitas CCSP pada Kondisi Normal dan dengan Beban Gempa

Nilai SF saat kondisi gempa cenderung lebih kecil dari kondisi normalnya atau tanpa gempa. Hal tersebut disebabkan oleh adanya koefisien gempa horizontal ( $K_h$ ) yang memberikan tekanan tambahan pada total tekanan tanah (Tjhan, 2019). Koefisien gempa horizontal mengakibatkan terjadinya getaran pada tanah, getaran tersebut juga menyebabkan adanya perpindahan sehingga mempengaruhi tekanan air pori dan tegangan efektif pada tanah (Shobari et al., 2019). Faktor keamanan pada lereng dipengaruhi oleh nilai dari koefisien gempa horizontal ( $K_h$ ) yang diterimanya semakin besar nilai  $K_h$  maka SF akan semakin kecil (Widisaputra et al., 2020).

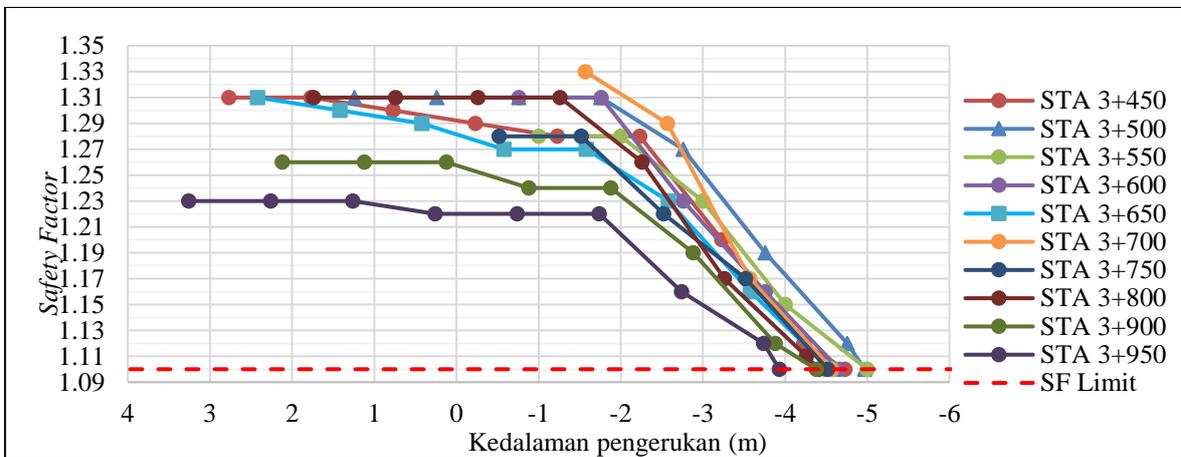
Hasil perhitungan stabilitas eksisting menunjukkan nilai SF untuk masing masing segmen stasioning seluruhnya berada di atas nilai SF limit yang sudah ditentukan dengan nilai SF rata-rata untuk kondisi gempa dan tanpa gempa masing-masing sebesar 1,29 dan 2,55. Oleh karena itu normalisasi aman untuk dilakukan pada seluruh segmen stasioning.

### Analisis Faktor keamanan Akibat Perubahan Kedalaman Sungai

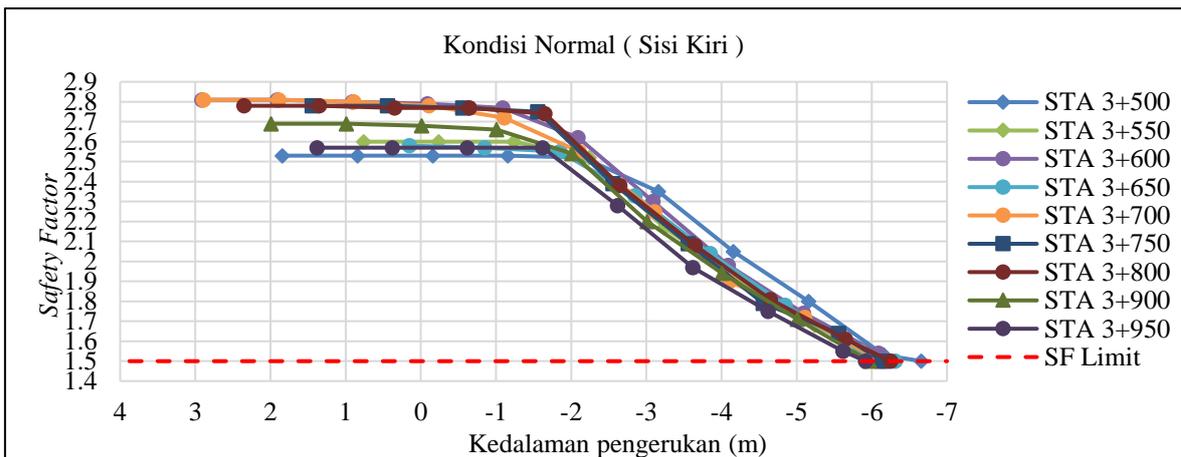
Pengaruh perubahan kedalaman sungai terhadap SF tanggul CCSP ditampilkan ke dalam grafik hubungan antara kedalaman pengerukan dengan SF (Gambar 6 s/d Gambar 9).



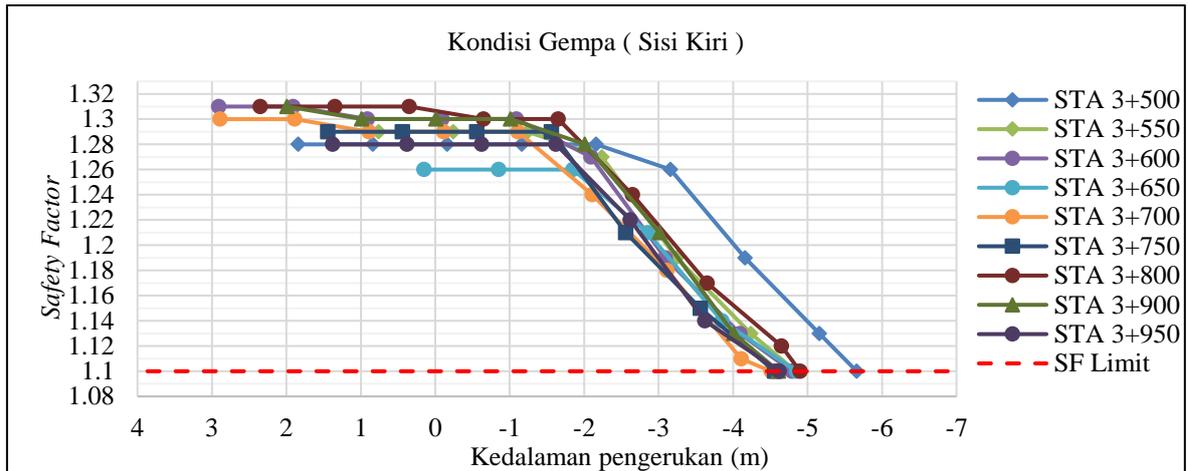
Gambar 6 Hubungan kedalaman pengerukan dengan SF kondisi normal sisi kanan



Gambar 7 Hubungan kedalaman pengerukan dengan SF kondisi gempa sisi kanan



Gambar 8 Hubungan kedalaman pengerukan dengan SF kondisi normal sisi kiri



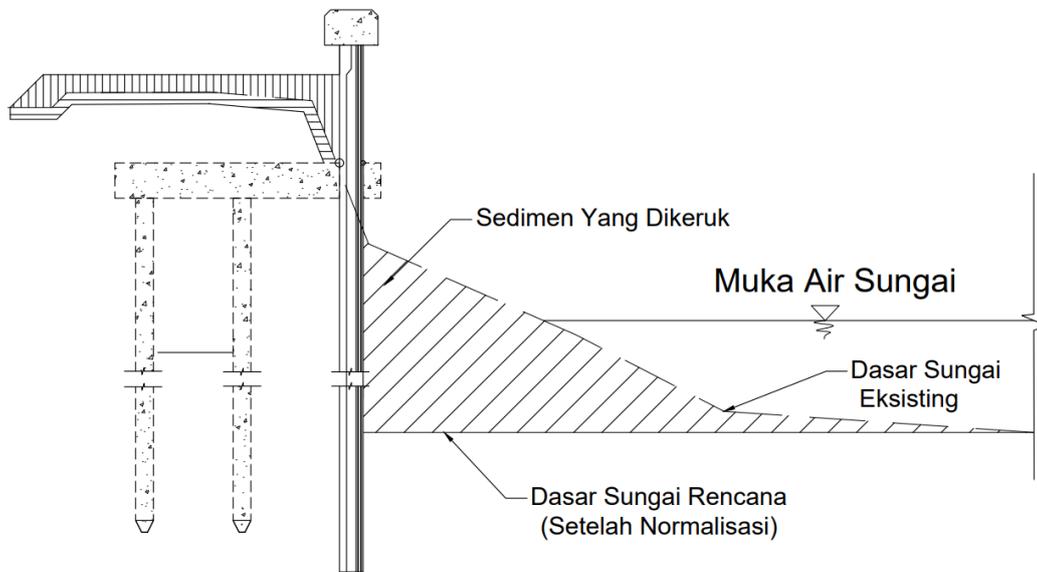
Gambar 9 Hubungan kedalaman pengerukan dengan SF kondisi gempa sisi kiri

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 terdapat beberapa STA yang kedalaman pengerukannya tidak dimulai dari nilai nol sumbu x, hal ini disebabkan titik nol yang menjadi acuan pengerukan adalah elevasi muka air normal sungai sedangkan pada STA 3+450, 3+500, 3+650, 3+800, 3+850, 3+900, dan 3+950 memiliki permukaan sedimen yang elevasinya berada di atas muka air sungai. Oleh sebab itu pengerukan dimulai dari nilai yang positif (+) karena berada di atas elevasi muka air sungai. Kondisi demikian berbeda dengan yang terjadi pada STA 3+550, 3+600, 3+700, dan 3+750 pada STA tersebut elevasi sedimen sungai seluruhnya berada di bawah muka air normal sungai sehingga kedalaman pengerukan dimulai dari nilai yang negatif (-).

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan perubahan SF pada sisi kiri sungai. Pada kedua grafik ini STA 3+450 tidak dicantumkan karena posisi tanggul CCSP yang ditinjau hanya berada pada sisi kanan sungai. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan di setiap segmen stasioning, terdapat adanya hubungan yang berbanding terbalik antara faktor keamanan dengan kedalaman pengerukan. Pengerukan pada sungai menyebabkan kedalaman tertanam tanggul CCSP berkurang sehingga berakibat pada menurunnya nilai tekanan tanah pasif yang berperan sebagai gaya penahan yang mendukung kestabilan. Tekanan tanah pasif juga mempengaruhi stabilitas CCSP (Muraro, 2015). Penurunan secara terus menerus terhadap nilai tekanan tanah pasif membuat faktor keamanan menurun (Suryani and Heriyadi, 2022) Selain itu faktor keamanan akibat pengerukan turut dipengaruhi oleh bervariasinya bentuk kontur tanah dan tinggi muka air. Muka air yang tinggi mengakibatkan tanah menjadi terendam sehingga menambah beban tanah dan meningkatkan terjadinya keruntuhan (Ardiansyah, 2017).

### Penerapan Normalisasi Pada Kedalaman Elevasi Dasar Sungai

Kondisi stabilitas tanggul CCSP saat ini mampu untuk dilakukan normalisasi dengan elevasi pengerukan lebih dari 5 m. Namun, dalam menentukan elevasi kedalaman pengerukan sungai perlu memperhatikan elevasi dasar sungai yang berada di bagian hilir atau muara. Oleh karena itu, normalisasi sungai diterapkan dengan cara mengeruk sedimen pada kedalaman sebatas elevasi dasar sungai (Gambar 10).



Gambar 10 Normalisasi sebatas dasar sungai

Hasil normalisasi pada dasar sungai terhadap stabilitas tanggul CCSP ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai SF saat normalisasi pada batas dasar sungai

STA	Faktor Keamanan (SF)			
	CCSP Kanan		CCSP Kiri	
	Gempa	Normal	Gempa	Normal
3+450	1.28	2.41	-	-
3+500	1.31	2.47	1.27	2.39
3+550	1.24	2.07	1.28	2.55
3+600	1.29	2.18	1.3	2.78
3+650	1.27	2.68	1.26	2.41
3+700	1.22	1.97	1.29	2.64
3+750	1.28	2.2	1.29	2.7
3+800	1.26	2.52	1.3	2.69
3+850	1.23	2.27	1.29	2.65
3+900	1.23	2.33	1.3	2.68
3+950	1.26	2.5	1.29	2.59

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa stabilitas tanggul CCSP masih aman saat dilakukannya normalisasi pada batas elevasi dasar sungai karena memiliki faktor keamanan diatas persyaratan minimum stabilitas pada SNI 8460:2017 baik pada kondisi gempa (SF=1,1) dan tanpa gempa (SF=1,5). Faktor keamanan dengan beban gempa memiliki nilai yang lebih kecil sebab gempa memberikan beban tambahan secara horizontal yang dalam mempengaruhi besar nilai tekanan lateral pada CCSP (Chaudary, 2018).

Batas elevasi pengerukan (Tabel 4) didapat ketika stabilitas CCSP saat dilakukannya normalisasi bernilai sama dengan SF limit. Titik nol yang menjadi acuan kedalaman adalah dari elevasi muka air normal.

Tabel 4 Elevasi kedalaman maksimum pengerukan

STA	Batas Elevasi (m)			
	CCSP Kanan		CCSP Kiri	
	Gempa	Normal	Gempa	Normal
3+450	4,63	5,93	-	-
3+500	4,89	5,86	5,66	6,66
3+550	4,69	5,90	5,70	6,55
3+600	4,66	5,65	4,79	6,15
3+650	4,55	5,58	4,85	6,31
3+700	4,57	5,54	4,51	6,11
3+750	4,52	5,52	4,72	6,32
3+800	4,41	5,86	4,90	6,25
3+850	4,57	5,67	4,81	6,14
3+900	4,38	5,63	4,61	5,97
3+950	3,93	5,74	4,62	5,92

Dari hasil perhitungan diketahui rata-rata kedalaman maksimal pengerukan pada kondisi gempa adalah 4,71 m dan 5,94 m pada kondisi normal tanpa gempa.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi stabilitas tanggul CCSP (Corrugated Concrete Sheet Pile) terhadap normalisasi Sungai Kemuning dengan program bantu berbasis elemen hingga dapat disimpulkan bahwa faktor keamanan (SF) tanggul CCSP menjadi semakin kecil seiring dengan pengerukan yang dilakukan karena berkurangnya kedalaman CCSP tertanam. SF pada kondisi gempa cenderung lebih kecil hal ini disebabkan adanya nilai koefisien gempa horizontal yang memberikan tekanan tambahan. Selain itu bervariasinya nilai SF pada masing-masing segmen stasioning dipengaruhi oleh tinggi muka air, serta bentuk dan kemiringan lereng.

Rata-rata elevasi maksimal pengerukan sungai yang diperbolehkan dalam mempertahankan stabilitas tanggul CCSP adalah 4,71 m dibawah muka air normal pada kondisi gempa dan 5,92 m dibawah muka air normal pada kondisi tanpa gempa. Nilai faktor keamanan masih berada diatas SF limit apabila dilakukan normalisasi pada batas elevasi dasar sungai.

## DAFTAR PUSTAKA

Ardiansyah, Muhammad Irfan. 2017. Pengaruh Kondisi Muka Air Tanah Terhadap Stabilitas Lereng Jalan Dengan Dinding Penahan Tanah (The Effect Of Ground Water

- Level Of Road Slope Stability With Retaining Wall) (Studi Kasus Jalan Banjarnegara-Karangobar Kilometer 77
- Benbouras, M. A., Kettab, R. M., Zedira, H., Debiche, F., & Zaidi, N. (2018). Comparing nonlinear regression analysis and artificial neural networks to predict geotechnical parameters from standard penetration test. *Urbanism. Architectura. Constructii*, 9(3), 275-288.
- BPS JATIM. 2015. Nama Dan Panjang Sungai Di Wilayah Jatim. URL <https://jatim.bps.go.id/statictable/2015/01/22/12/nama-dan-panjang-sungai-.html>. (Accessed: 30 June 2022).
- Chaudhary, B., Hazarika, H., Murakami, A., & Fujisawa, K. (2018). Geosynthetic-sheet pile reinforced foundation for mitigation of earthquake and tsunami induced damage of breakwater. *Geotextiles and Geomembranes*, 46(5), 597-610.
- DPU SDA JATIM. 2019. Rencana Pembangunan Floodway Sungai Kemuning Sebagai Solusi Banjir Kabupaten Sampang. URL <http://dpuair.jatimprov.go.id/main/detail/88>. (Accessed: 30 June 2022).
- Febriarta, Erik et al. 2022. "Pemetaan Zona Kerentanan Airtanah Pesisir Formasi Batugamping Terhadap Pencemaran Nitrat Di Kecamatan Sepulu Madura". *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2): 219–30.
- Jumadi, K., Dofir, A., Andreas, A., & Tinumbia, N. (2024). Landfill Stability Analysis Using Corrugated Concrete Sheet Pile (Ccsp) With Plaxis 2d V22 Software. *Jurnal Infrastruktur*, 10(1), 25-34.
- Kamila, N., Khoiri, M., & Siagian, F. (2024). The Improvement of Existing Slope Reinforcement System and The Design of Alternative Slope Reinforcements Case Study: Lainea-Awunio Road Section Km 98+ 050 South Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. *Journal of Infrastructure & Facility Asset Management*, 6.
- Maharani, T., Nurtjahjaningtyas, I., & Wicaksono, L. A. (2022). Desain Ulang Dinding Penahan Tanah Menggunakan Dinding Diafragma dan Angkur pada Tanah Lunak (Studi Kasus: Grand Dharmahusada Lagoon). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 5(2), 142-154.
- Muraro, S., Madaschi, A., & Gajo, A. (2015). Passive soil pressure on sloping ground and design of retaining structures for slope stabilisation. *Géotechnique*, 65(6), 507-516.
- PUPR. 2017. 4 Pelatihan Pengendalian Banjir Modul 4 Metode Pengendalian Banjir.
- RRI. 2020. Banjir Sampang, Petani Tak Dapat Ganti Rugi. URL <https://rri.co.id/daerah/947198/banjir-sampang-petani-tak-dapat-ganti-rugi>. (Accessed: 30 June 2022).
- Shobari, Arif Fakhruddin et al. 2019. "Hubungan Nilai Koefisien Gempa Horizontal (Kh) Dengan Nilai Faktor Keamanan (FS) Daerah Cilengkrang, Jawa Barat". *Padjadjaran Geoscience Journal*, 3(4): 243–53.
- Suryani, Dewi, and Bambang Heriyadi. 2022. "Analisis Kestabilan Lereng Tambang Menggunakan Metode Janbu Simplified Dengan Pendekatan Probabilitas Kelongsoran Pada PLB Front IV Batukapur IUP OP 206 , 96 Ha". *Jurnal Bina Tambang*, 7(2): 143–54.
- Tjhan, Elisabeth Somba. 2019. "Pengaruh Gempa Terhadap Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever". *Jurnal Ilmiah Media Engineering* 9(1): 11–20.
- Triarso, A., & Risdianto, Y. (2021, May). Corrugated Sheet Pile Analysis on Riverbank Retaining Wall Project in Factory Area of the Sukoraharjo Street. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1125, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.

- Utomo, L. R. (2022). Desain dan pemilihan alternatif tanggul untuk penanggulangan banjir pasang laut (rob)(studi kasus pada rencana pembangunan Tanggul rob Sayung, Demak) (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia)).
- Widisaputra, Riansyah et al. 2020. “Pengaruh Beban Gempa Terhadap Kestabilan Lereng Tanah Daerah Liwa Dan Sekitarnya, Kabupaten Lampung Barat, Lampung”. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 4(5): 411–19.