



**EVALUASI STABILITAS *CORRUGATED CONCRETE SHEET PILE*
(CCSP) TERHADAP NORMALISASI SUNGAI
KEMUNING SAMPANG**

SKRIPSI

Oleh :
Khalid Pijar Ganesha
NIM 191910301059

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2023



**EVALUASI STABILITAS *CORRUGATED CONCRETE SHEET PILE*
(CCSP) TERHADAP NORMALISASI SUNGAI
KEMUNING SAMPANG**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Khalid Pijar Ganesha

NIM 191910301059

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2023

PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Bapak Hengky Histoveri.; Ibu Sri Istina.; Ghalip Pandu Dewantara dan segenap keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan selama penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak dan Ibu dosen yang telah mendidik dan berkenan membagikan ilmunya.
3. Teman-teman seperjuangan Kos Didik yaitu Reza Aldi dan Athalla Rafid yang senantiasa memberi dukungan dan ejekan sehingga memicu persaingan dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Almamater Teknik Sipil Universitas Jember

MOTTO

“Dunia tidak melunak, kita yang harus menguat”



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khalid Pijar Ganesha

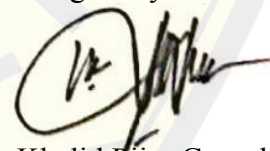
NIM : 191910301059

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul “Evaluasi Stabilitas *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) Terhadap Normalisasi Sungai Kemuning Sampang” adalah benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun dan bersedia mendapat sanksi akademik jika dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 12 Januari 2023

Yang menyatakan



Khalid Pijar Ganesha
NIM. 191910301059

SKRIPSI

**EVALUASI STABILITAS *CORRUGATED CONCRETE SHEET PILE*
(CCSP) TERHADAP NORMALISASI SUNGAI
KEMUNING SAMPANG**

Oleh

Khalid Pijar Ganesha

NIM 191910301059

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Evaluasi Stabilitas *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) Terhadap Normalisasi Sungai Kemuning Sampang" karya Khalid Pijar Ganesha telah diuji dan disahkan pada:

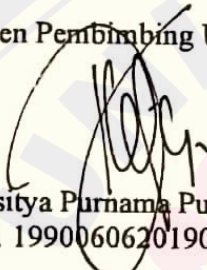
Hari, tanggal : Kamis, 12 Januari 2023

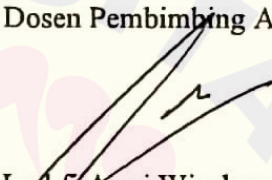
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota


Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T.
NIP. 199006062019031022

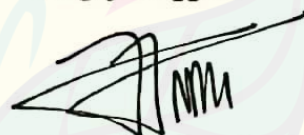

Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T.
NIP. 760016771

Tim Penguji:

Penguji Utama

Penguji Anggota


Dr. Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T.
NIP. 197010241998032001


Tatang Maulana Maliq, S.T., M.T.
NIP. 198603202020121002

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik


Dr. Ir. Triwahyu Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

Evaluasi Stabilitas *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) Terhadap Normalisasi Sungai Kemuning Sampang, Khalid Pijar Ganesha, 191910301059, 2023; 62 Halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Debit banjir di Sungai Kemuning Sampang yang tidak sebanding dengan kapasitas tampung sungai mengakibatkan Kawasan Sampang kerap kali terendam banjir. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan cara melakukan normalisasi pengerukan sungai untuk memperbesar penampang dan kapasitas tampung sungai. Namun dalam melakukan normalisasi perlu mempertimbangkan keberadaan dan stabilitas tanggul eksisting yang terbuat dari *corrugated concrete sheet pile* (CCSP).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas tanggul CCSP di Sungai Kemuning terhadap normalisasi pengerukan sungai. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi GEO 5. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif acuan dalam menentukan elevasi kedalaman normalisasi Sungai Kemuning di Kabupaten Sampang.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *safety factor* (SF) tanggul CCSP menjadi semakin kecil seiring dengan pengerukan yang dilakukan karena berkurangnya kedalaman CCSP tertanam. SF pada kondisi gempa cenderung lebih kecil yang disebabkan adanya nilai koefisien gempa horizontal yang memberikan tekanan tambahan. Selain itu bervariasinya nilai SF pada masing-masing STA dipengaruhi oleh tinggi muka air, serta bentuk dan kemiringan lereng. Dengan mempertimbangkan stabilitas tanggul CCSP, normalisasi dapat dilakukan pada STA 3+450 s/d STA 3+950 dengan batas elevasi kedalaman pengerukan yaitu 4,71 m dibawah muka air normal.

SUMMARY

Evaluation of Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) Stability Against Normalization of the Kemuning Sampang River, Khalid Pijar Ganesha, 191910301059, 2023; 62 Pages; Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The flood discharge in the Kemuning Sampang River which is not proportional to the river's capacity has resulted in the Sampang area being flooded frequently. One effort that can be made to overcome this is by normalizing river dredging to enlarge the cross-section and capacity of the river. However, in carrying out normalization, it is necessary to consider the existence and stability of the existing embankment made of a corrugated concrete sheet pile (CCSP).

This study aims to evaluate the stability of the CCSP embankment on the Kemuning River against the normalization of river dredging. The evaluation was carried out using the help of the GEO 5 application. The results of this study are expected to be an alternative reference in determining the elevation of the normalization depth of the Kemuning River in Sampang Regency.

The results of this study indicate that the safety factor (SF) of the CCSP embankment becomes smaller as dredging is carried out due to the reduced depth of embedded CCSPs. SF in earthquake conditions tends to be smaller due to the horizontal earthquake coefficient value which gives additional pressure. In addition, the variation in SF values at each STA is influenced by the water level and the shape of the slope. Considering the CCSP embankment's stability, normalization can be carried out at STA 3+450 to STA 3+950 with a dredging depth elevation limit of 4.71 m below the normal water level.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Evaluasi Stabilitas *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) Terhadap Normalisasi Sungai Kemuning Sampang”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis sadar bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dari sejumlah pihak. Maka sebab itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya pada :

1. Bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik.
2. Bapak Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T., selaku Kepala Jurusan Teknik Sipil.
3. Ibu Dr. Ir. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Sipil.
4. Bapak Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T. dan Bapak Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah membantu dan memberi arahan dalam menyusun tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Ir. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T. dan Bapak Tatang Maulana Maliq, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang sudah banyak memberi masukan guna perbaikan tugas akhir ini.
6. Ibu Ir. Wiwik Y. Widiarti, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberi dukungan dan doa.
8. Terima kasih kepada Athalla Rafid Novesafwan yang telah membantu dalam memperoleh data-data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis sadar bahwasannya skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Maka dari itu, penulis mengharap saran maupun kritikan yang membangun dari seluruh pihak untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis mengharapkan bahwa tugas akhir ini bisa memiliki manfaat.

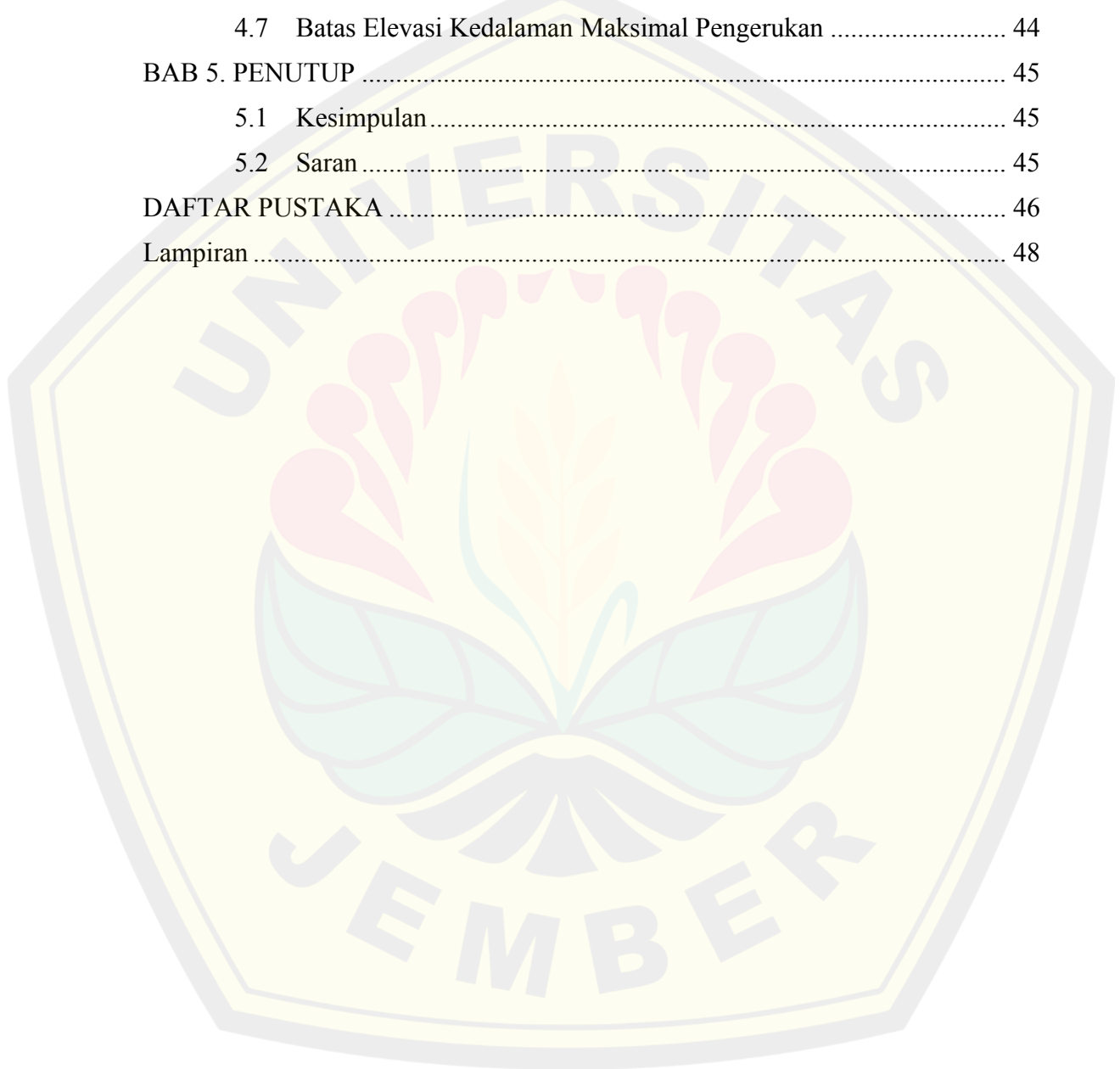
Jember, 12 Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN.....	i
MOTTO	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN	iv
RINGKASAN	vi
SUMMARY	vii
PRAKATA.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Normalisasi Sungai.....	4
2.2 CCSP (<i>Corrugated Concrete Sheet Pile</i>)	4
2.3 Kemampuan Tiang dalam Menahan Gaya Horizontal (Pmaks).....	5
2.4 Parameter Tanah Hasil Penyelidikan SPT.....	7
2.5 Stabilitas	11
2.6 Perangkat Lunak Berbasis Metode Elemen Hingga	12
2.7 Penelitian Terdahulu.....	20
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Lokasi Penelitian	22
3.2 Pengumpulan Data.....	22
3.3 Analisis	23
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	25
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26

4.1	Data Tanah.....	26
4.2	Perhitungan Gaya Balok Tarik dan <i>Minipile</i>	26
4.3	Input parameter data pada Geo 5	29
4.4	Perhitungan Stabilitas Eksisting (Sebelum Normalisasi)	31
4.5	Analisa Safety Factor Akibat Perubahan Kedalaman Sungai	34
4.6	Penerapan Normalisasi Pada Kedalaman Elevasi Dasar Sungai	37
4.7	Batas Elevasi Kedalaman Maksimal Pengerukan	44
BAB 5. PENUTUP		45
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		46
Lampiran		48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Sungai Kemuning Kabupaten Sampang.....	1
Gambar 1. 2 Banjir Merendam Persawahan di Kabupaten Sampang	2
Gambar 2. 1 Normalisasi Dengan Pengerukan Sungai	4
Gambar 2. 2 Jenis dan Dimensi Profil CCSP.....	5
Gambar 2. 3 Grafik Nilai Koefisien Momen Gaya Lateral (FM)	6
Gambar 2. 4 Grafik Nilai Koefisien Variasi Modulus Tanah (f)	7
Gambar 2. 5 Bore Log Hasil SPT	8
Gambar 2. 6 Hasil Sheeting Check	13
Gambar 2. 7 Tampilan Ikon Geo 5 2020	14
Gambar 2. 8 Tampilan aplikasi yang tersedia di Geo 5 2020	14
Gambar 2. 9 Data Project dan Sistem Unit GEO 5 2020	15
Gambar 2. 10 Membuat Profil Lapisan Tanah.....	16
Gambar 2. 11 Panel Input Parameter Tanah GEO 5	16
Gambar 2. 12 Pemilihan jenis tanah untuk setiap profil lapisan tanah	17
Gambar 2. 13 Input Parameter Dinding Penahan Tanah.....	17
Gambar 2. 14 Input koordinat kontur tanah	18
Gambar 2. 15 Input tinggi muka air di depan dan belakang DPT.....	18
Gambar 2. 16 Input Beban Surcharge	19
Gambar 2. 17 menentukan struktur perkuatan tambahan.....	19
Gambar 2. 18 Jendela Input Parameter Koefisien Gempa	20
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian	22
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 4. 1 Tampilan Awal Sheeting Check.....	15
Gambar 4. 2 Perkuatan Balok Tarik dan Minipile	27
Gambar 4. 3 Angkur Tipe Deadman di Geo 5 2020	27
Gambar 4. 4 Koefisien Gempa Horizontal.....	30
Gambar 4. 5 Permodelan STA 3+500 Sisi Kanan	31

Gambar 4. 6 Skema Normalisasi Sungai 38



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Korelasi N-SPT	9
Tabel 2. 2 Nilai Poison Rasio pada Macam-Macam Jenis Tanah.....	9
Tabel 2. 3 Nilai Berat Volume, Sudut Geser, Dan Kohesi Sesuai Dengan Jenis Dan Konsistensi Tanah	9
Tabel 2. 4 Nilai Berat Volume Terendam Tanah Untuk Tanah Non Kohesif	10
Tabel 2. 5 Nilai Berat Volume Tanah Terendam Untuk Tanah Kohesif	11
Tabel 2. 6 Nilai Faktor Keamanan Bowles	11
Tabel 2. 7 Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Menurut SNI 8460-2017	12
Tabel 2. 8 Matriks Penelitian Terdahulu.....	21
Tabel 4. 1 Parameter Data Tanah yang digunakan	26
Tabel 4. 2 Stabilitas Eksisting Kondisi Normal Sisi Kanan	32
Tabel 4. 3 Stabilitas Eksisting Kondisi Normal Sisi Kiri	32
Tabel 4. 4 Stabilitas Eksisting Kondisi Gempa Sisi Kanan	33
Tabel 4. 5 Stabilitas Eksisting Kondisi Gempa Sisi Kiri	33
Tabel 4. 6 Batas Elevasi Maksimal Pengerukan	44
Grafik 4. 1 Perubahan SF Akibat Pengerukan Kondisi Gempa Sisi Kanan.....	35
Grafik 4. 2 Perubahan SF Akibat Pengerukan Kondisi Normal Sisi Kanan.....	35
Grafik 4. 3 Perubahan SF Akibat Pengerukan Kondisi Gempa Sisi Kiri.....	36
Grafik 4. 4 Perubahan SF Akibat Pengerukan Kondisi Normal Sisi Kiri.....	36
Grafik 4. 5 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+450.....	38
Grafik 4. 6 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+500.....	39
Grafik 4. 7 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+550.....	39
Grafik 4. 8 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+600.....	40
Grafik 4. 9 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+650.....	40
Grafik 4. 10 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+700.....	41
Grafik 4. 11 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+750.....	41
Grafik 4. 12 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+800.....	42

Grafik 4. 13 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+850..... 42
Grafik 4. 14 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+900..... 43
Grafik 4. 15 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+950..... 43



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian Tanah SPT

Lampiran 2 Permodelan Pada GEO 5 2020



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 yang lebih dari 35 mm dengan debit banjir kala ulang 25 tahun sebesar 420 m³/dt membuat setiap tahunnya Sungai Kemuning meluap, hal tersebut disebabkan kapasitas tampung sungai hanya sebesar 120-130 m³/dt (DPU SDA JATIM, 2019).



Gambar 1. 1 Sungai Kemuning Kabupaten Sampang
(Sumber : Novesafwan, 2021)

Merujuk pada pusat pemberitaan RRI (Radio Republik Indonesia), diwartakan banjir yang terjadi di daerah Sampang merendam pemukiman dan areal persawahan warga, sehingga mengakibatkan aktivitas masyarakat terganggu 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 sehingga kapasitas tampung sungai dapat meningkat serta aliran sungai menjadi lebih lancar (PUPR, 2017).



Gambar 1. 2 Banjir Merendam Persawahan di Kabupaten Sampang
(Sumber : RRI, 2020)

Upaya pengendalian banjir dengan pengerukan tentunya harus memperhatikan keberadaan dan stabilitas tanggul eksisting di Sungai Kemuning yang terbuat dari material CCSP (*Corrugated Concrete Sheet Pile*). CCSP termasuk sebagai jenis dinding penahan tanah tertanam (*embedded walls*) yang stabilitasnya diperoleh dari adanya tahanan pasif tanah (BSN, 2017). Oleh sebab itu pengendalian banjir dengan cara normalisasi akan mempengaruhi stabilitas tanggul CCSP, karena tahanan pasif tanah akan berkurang akibat pengerukan sedimen di dasar sungai.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan evaluasi mengenai stabilitas tanggul CCSP di Sungai Kemuning terhadap normalisasi sungai. Tujuan penelitian dimaksudkan untuk menentukan batas kedalaman pengerukan yang diperbolehkan untuk mempertahankan stabilitas terhadap tanggul yang ada di Sungai Kemuning. Evaluasi stabilitas tanggul terhadap normalisasi dihitung dengan menggunakan program bantu GEO 5 2020.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang didapat rumusan masalah yang meliputi :

1. Bagaimana evaluasi stabilitas tanggul CCSP terhadap normalisasi sungai?
2. Berapa kedalaman maksimum pengerukan hingga mencapai *safety factor* kritis tanggul CCSP ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini yaitu :

1. Mengevaluasi stabilitas tanggul CCSP terhadap normalisasi sungai.
2. Menentukan kedalaman maksimum pengerukan hingga mencapai *safety factor* kritis tanggul CCSP.

1.4 Manfaat

Manfaat penelitian ini yaitu dapat digunakan sebagai alternatif acuan dalam menentukan elevasi kedalaman normalisasi Sungai Kemuning di Kabupaten Sampang, Provinsi Jawa Timur.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini yaitu :

1. Tidak memperhitungkan analisis hidrologi.
2. Tidak memperhitungkan rancangan anggaran biaya (RAB).
3. Mengevaluasi stabilitas tanggul CCSP dengan menggunakan bantuan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga Geo 5.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Normalisasi Sungai

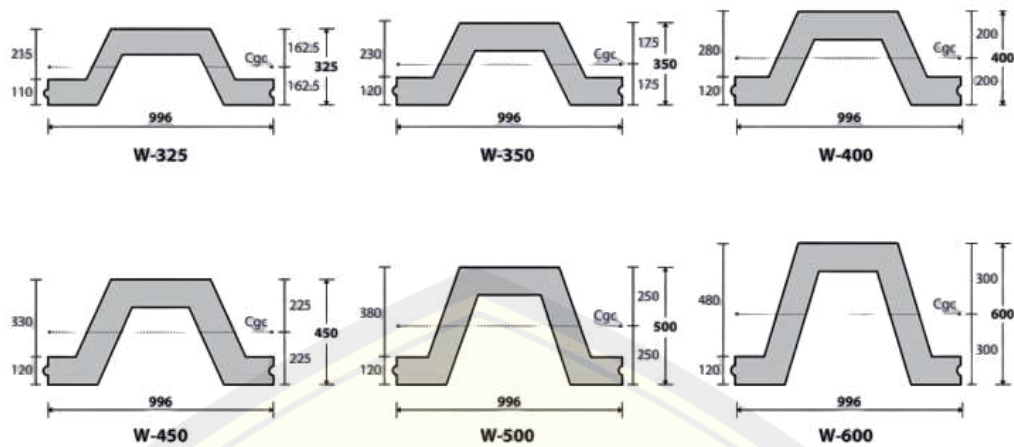
Normalisasi sungai merupakan usaha yang dilakukan untuk mengendalikan banjir. Normalisasi dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu mengeruk sedimentasi untuk menambah kedalaman sungai, pelebaran penampang sungai, dan pembuatan tanggul (Nugraha *et al.*, 2019). Menurut Modul 06 tentang morfologi sungai Kementerian PUPR 2017 normalisasi sungai bertujuan mempercepat perpindahan puncak banjir menuju ke arah hulu sungai.



Gambar 2. 1 Normalisasi Dengan Pengerukan Sungai
(Sumber : Liputan 6, 2021)

2.2 CCSP (*Corrugated Concrete Sheet Pile*)

CCSP (*Corrugated Concrete Sheet Pile*) merupakan jenis *sheet pile* dengan bentuk bergelombang yang terbuat dari material beton bertulang pracetak. Menurut SNI 8460-2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik, CCSP termasuk ke dalam jenis dinding penahan tanah tipe *embedded walls* atau dinding penahan tanah yang dipasang tertanam. Tipe *embedded walls* memperoleh stabilitas dari tekanan tanah pasif, umumnya *embedded walls* dengan jenis *sheet pile* disusun dengan pola saling mengunci dan biasa diberi perkuatan lateral tambahan (BSN, 2017). CCSP memiliki keunggulan dalam proses pengerjaan, sifatnya yang pracetak membuat pengaplikasian di lapangan menjadi relatif lebih singkat (Astuti dan Prativi, 2018)



Gambar 2. 2 Jenis dan Dimensi Profil CCSP
(Sumber : Wika Beton)

CCSP (*Corrugated Concrete Sheet Pile*) termasuk kedalam klasifikasi tanggul khusus. Umumnya tipe tanggul khusus digunakan pada wilayah padat penduduk dengan tujuan untuk meminimalkan areal pembebasan lahan (PUPR, 2017c). Stabilitas turap sheet pile jenis CCSP dipengaruhi oleh adanya gaya yang ditimbulkan dari tekanan tanah aktif dan pasif.

2.3 Kemampuan Maksimal Tiang dalam Menahan Gaya Horizontal (Pmaks)

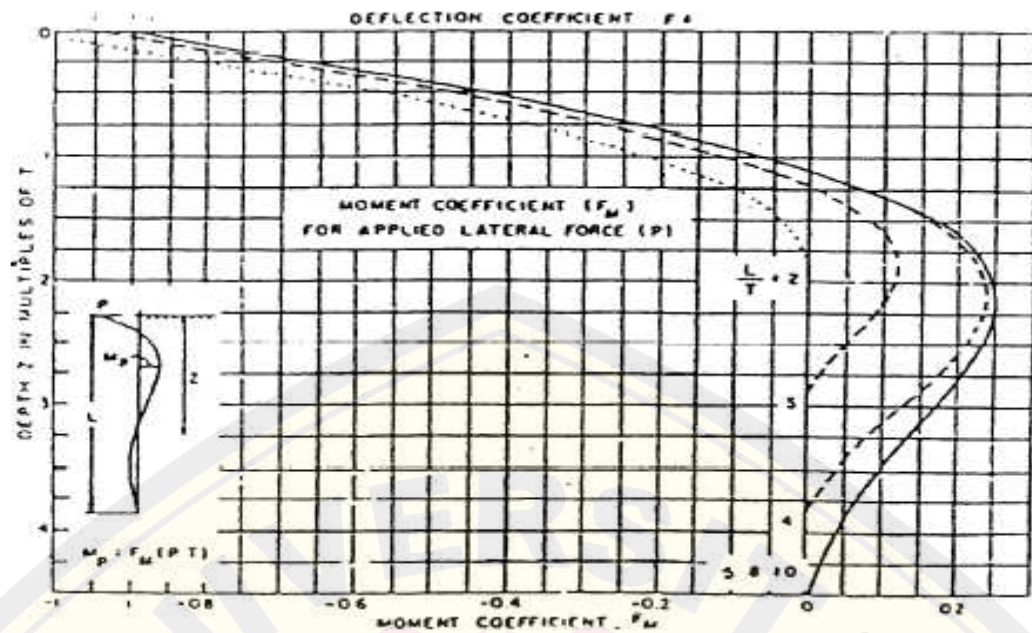
Perhitungan tiang lateral digunakan untuk mengetahui kemampuan maksimal tiang dalam menahan gaya horizontal (Pmaks). Pmaks dapat

$$P_{maks} = \frac{M_p}{FM.T} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan

- P_{Maks} = Kemampuan maksimal tiang menahan gaya horizontal (kg)
- M_p = Momen lentur tiang (kg/cm)
- FM = Koefisien momen gaya lateral
- T = Faktor kekakuan relatif (cm)

Momen lentur bahan disesuaikan dengan spesifikasi dan karakteristik material yang digunakan. Sedangkan nilai koefisien momen gaya lateral (FM) diperoleh dari grafik pada Gambar 2.3. untuk mencari nilai FM perlu diketahui terlebih dahulu nilai faktor kekakuan relatif (T) tiang yang diperoleh dari persamaan 2.2



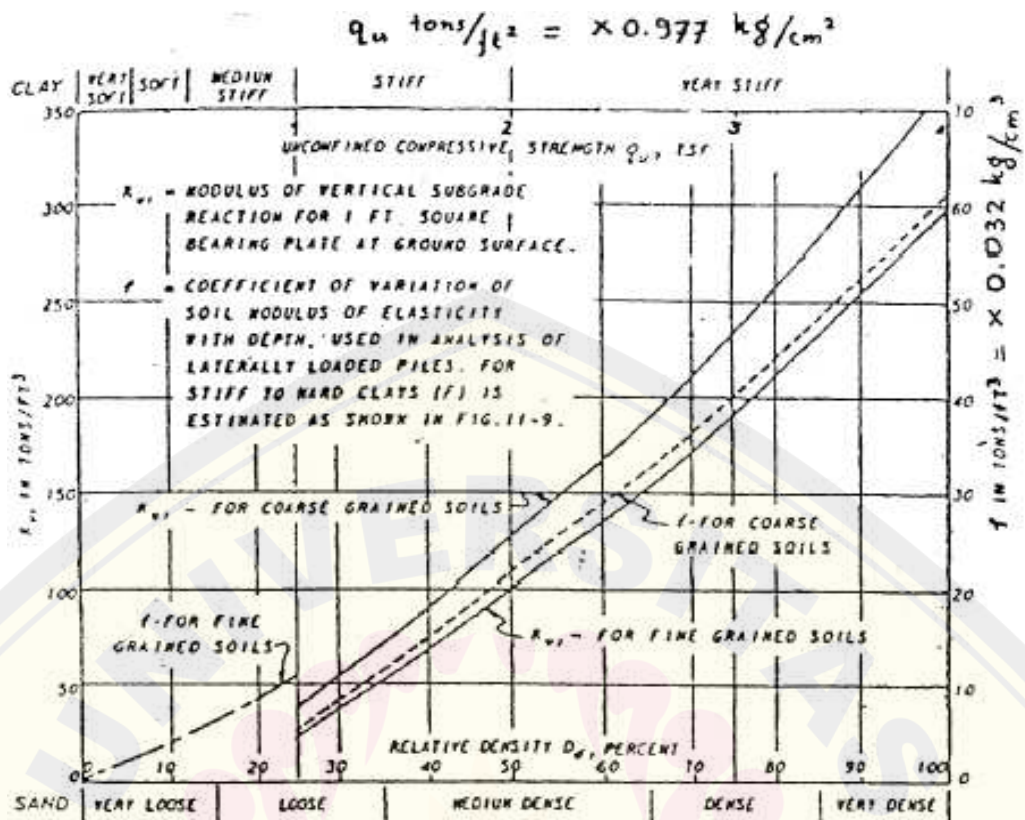
Gambar 2. 3 Grafik Nilai Koefisien Momen Gaya Lateral (FM)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{1/5} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan

- T = Faktor kekakuan relatif (cm)
- E = Modulus elastisitas material (kg/cm²)
- I = Inersia (cm⁴)
- f = Koefisien variasi modulus tanah

Nilai modulus elastisitas dan inersia disesuaikan dengan material dan bentuk penampang yang digunakan. Sedangkan untuk koefisien variasi modulus tanah diperoleh dari grafik hubungan untuk nilai f yang tercantum pada gambar 2.4.

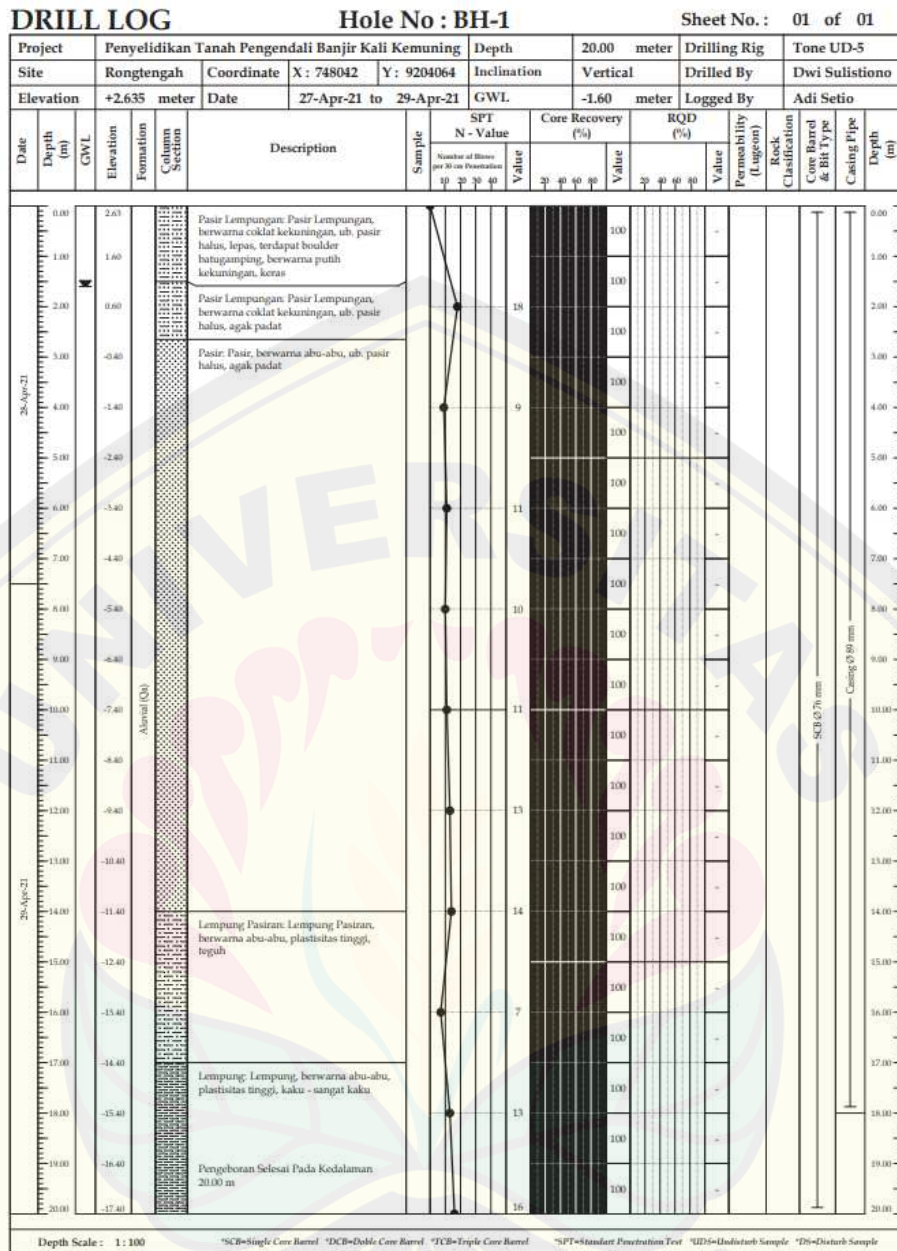


Gambar 2. 4 Grafik Nilai Koefisien Variasi Modulus Tanah (f)

2.4 Parameter Tanah Hasil Penyelidikan SPT

Penyelidikan tanah adalah upaya yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan sifat alamiah tanah melalui pengujian secara langsung di lapangan maupun di laboratorium, karakteristik dan sifat tanah tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi permasalahan di bidang Teknik sipil salah satunya stabilitas lereng dan tanggul (Soedarmo, 1993). Salah satu metode penyelidikan tanah yang umum digunakan adalah *standard penetration test* (SPT).

SPT merupakan jenis penetrasi dinamis dengan menggunakan beban secara berulang untuk mengetahui kekuatan tanah dengan cara menghitung jumlah pukulan setiap interval kedalaman atau N-SPT, penyelidikan tanah dengan SPT dilakukan bersamaan dengan pengeboran (BSN, 2008). Hasil penyelidikan tanah SPT disajikan dalam bentuk grafik hubungan kedalaman dengan jumlah pukulan (N-SPT) atau dikenal juga sebagai grafik *bore log*.



Gambar 2. 5 Bore Log Hasil SPT
(Sumber : PT Daya Cipta Dianrancana, 2021)

Banyaknya pukulan (N) terhadap penetrasi untuk setiap kedalaman dapat dikorelasikan untuk mengetahui beberapa parameter tanah diantaranya yaitu tingkat konsistensi tanah, berat volume tanah (γ), berat volume tanah terendam (γ_{sat}), kohesi tanah (c), serta sudut geser internal tanah (ϕ). Parameter tanah tersebut digunakan sebagai parameter hitung evaluasi stabilitas CCSP terhadap normalisasi sungai,

Tabel 2. 1 Korelasi N-SPT

<i>Cohesionless Soil</i>					
<i>N</i>	0-10	11-30	31-50	>50	
<i>Unit Weight γ (Kn/m³)</i>	12-16	14-18	16-20	18-23	
<i>Angle of Friction (ϕ)</i>	25-32	28-36	30-40	>35	
<i>State</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>	
<i>Cohesive Soil</i>					
<i>N</i>	<4	4-6	6-15	16-25	>25
<i>Unit Weight γ (Kn/m³)</i>	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
<i>qu (kPa)</i>	<25	20-50	30-60	40-200	>100
<i>State</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

Sumber : Whilliam T., Whitman, Robert V

Tabel 2. 2 Nilai Poisson Rasio pada Macam-Macam Jenis Tanah

Jenis Tanah	Poisson ratio (ν)
Lempung jenuh	0,4-0,5
Lempung tak jenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir	0,1-1,0
Batuan	0,1-0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3-0,4

Sumber : Braja M. Das

Tabel 2. 3 Nilai Berat Volume, Sudut Geser, Dan Kohesi Sesuai Dengan Jenis Dan Konsistensi Tanah

Jenis	Konsistensi	Berat Volume (t/m ³)	Sudut geser internal (°)	kohesi (t/m ²)	Klasifikasi
1. Timbunan					
Kerikil & pasir berkerikil	Dipadatkan	2	40	0	GW, GP

Jenis	Konsistensi	Berat Volume (t/m ³)	Sudut geser internal (°)	kohesi (t/m ²)	Klasifikasi
Pasir	Padat bergradasi baik	2	35	0	SW, SP
	Padat bergradasi kurang baik	1,9	30	0	
Tanah berpasir	Dipadatkan	1,9	25	<3.0	SM, SC
Lempung	Dipadatkan	1,8	15	<5.0	ML, CL, MH, CH
2. Lapisan Alam					
Kerikil	Padat bergradasi baik	2,0	40	0	GW, GP
	Padat bergradasi kurang baik	1,8	35	0	
Pasir berkerikil	Padat	2,1	40	0	SM, SC
	Lepas	1,9	35	0	
Pasir	Padat bergradasi baik	2,0	35	0	SW, SP
	Padat bergradasi kurang baik	1,8	30	0	
Tanah berpasir	Padat	1,9	30	<3.0	SM, SC
	Lepas	1,7	25	0	
Tanah kelempungan	Sangat teguh hingga kaku	1,8	25	<5.0	ML, CL
	Teguh	1,7	20	<3.0	
	Lunak	1,6	15	<1.5	
Lempung atau lanau	Sangat teguh hingga kaku	1,7	20	<5.0	CH, MH, ML
	Teguh	1,6	15	<3.0	
	Lunak	1,4	10	<1.5	

Sumber : Japan Road Association

Tabel 2. 4 Nilai Berat Volume Terendam Tanah Untuk Tanah Non Kohesif

Description	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
NSPT					
<i>Fine</i>	1-2	3-6	7-15	16-30	
<i>Medium</i>	2-3	4-7	8-20	21-40	>40

Description	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Coarse	3-6	5-9	10-25	26-45	>45
ϕ					
Fine	26-28	28-30	30-34	33-38	
Medium	27-28	30-32	32-36	36-42	<50
Coarse	28-30	30-34	33-34	40-50	
γ_{sat} (kN/m ³)	11-16	14-18	17-20	17-22	20-23

Sumber : Whilliam T., Whitman, Robert V, 1962

Tabel 2. 5 Nilai Berat Volume Tanah Terendam Untuk Tanah Kohesif

N SPT (blows/ft)	Konsistensi	q_u (t/ft ²)	γ_{sat} (kN/m ³)
<2	Very soft	<0,25	16-19
2-4	Soft	0,25-0,5	16-19
4-8	Medium	0,5-1	17-20
8-15	Stiff	1-2	19-22
15-30	Very stiff	2-4	19-22
>30	Hard	>4	19-22

Sumber : Terzaghi and Peck, 1969

2.5 Stabilitas

Ketidaksebandingan antara kekuatan geser tanah dengan tegangan geser yang terjadi dapat mengakibatkan keruntuhan pada lereng (Setiawan *et.al.*, 2018). Stabilitas lereng dapat terjadi apabila faktor keamanan telah memenuhi standar persyaratan yang ada. Menurut Bowles nilai faktor keamanan stabilitas lereng ditentukan pada tabel 2.6 sedangkan nilai faktor keamanan yang disarankan oleh SNI 8460-2017 untuk lereng tanah terdapat pada tabel 2.7

Tabel 2. 6 Nilai Faktor Keamanan Bowles

Faktor keamanan	Kondisi
$F_s < 1,07$	Dapat terjadi keruntuhan
$1,07 < F_s \leq 1,25$	Keruntuhan mungkin terjadi
$F_s > 1,25$	Jarang terjadi keruntuhan

Faktor keamanan	Kondisi
-----------------	---------

Sumber : Bowles

Tabel 2. 7 Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Menurut SNI 8460-2017

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	$\geq 2,0$

^a Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.

^b Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan

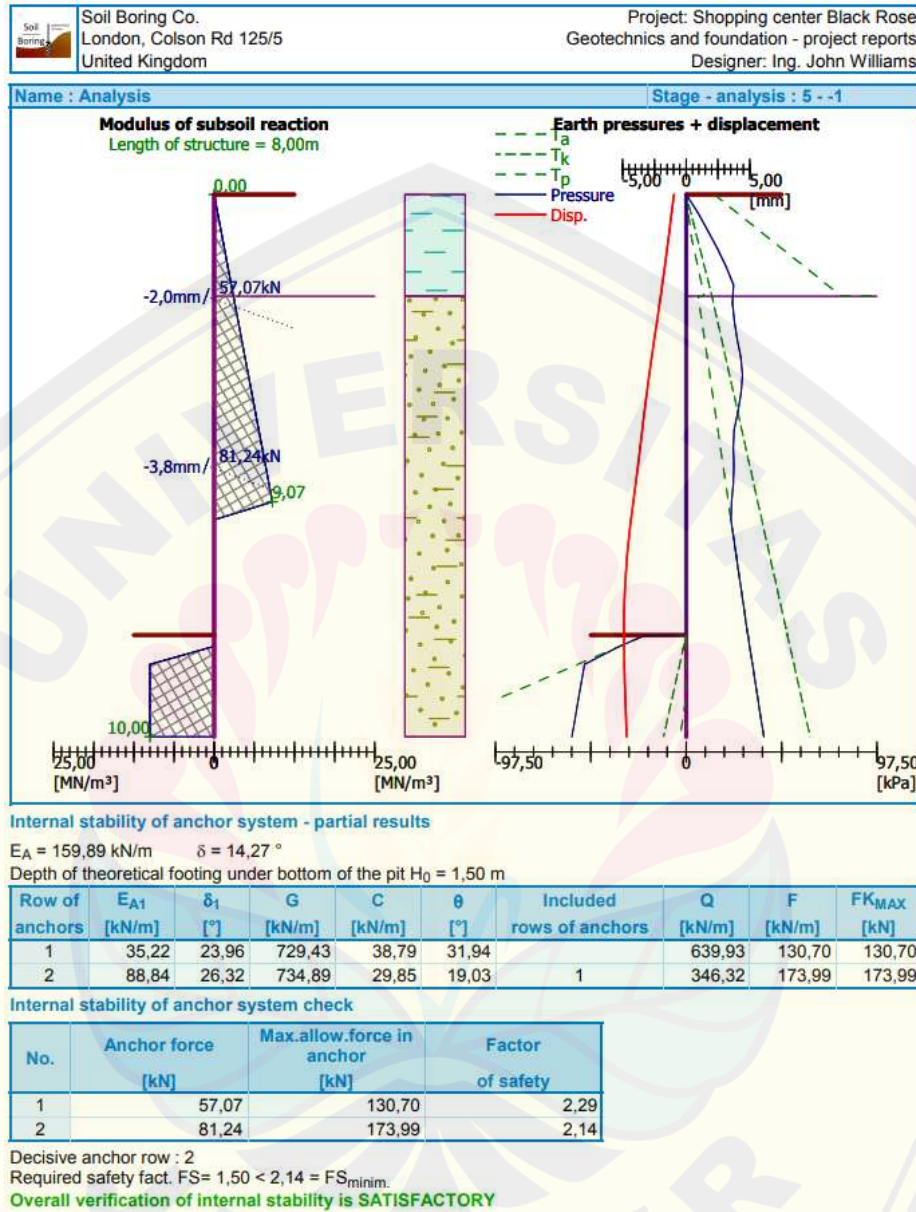
Sumber : SNI 8460-2017

Pada SNI 8460:2017 juga diatur mengenai nilai stabilitas minimum yang harus dipenuhi oleh struktur dinding penahan tanah. Angka faktor keamanan minimum dinding penahan tanah pada kondisi gempa haruslah melebihi nilai 1,1 ($SF > 1,1$). Sedangkan pada kondisi normal tanpa adanya gempa struktur dinding penahan tanah harus memiliki angka faktor keamanan yang lebih dari 1,5 ($SF > 1,5$).

2.6 Perangkat Lunak Berbasis Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga atau *Finite Element Method* (FEM) adalah metode alternatif yang banyak digunakan dalam menganalisa stabilitas lereng, hal tersebut dikarenakan metode ini dinilai memiliki akurasi yang baik terutama dalam analisis kegagalan mekanis (Sungkar *et al.*, 2020). Penggunaan FEM bertujuan untuk membantu dan memudahkan penggunaannya dalam proses analisis, salah satu perangkat lunak yang menerapkan FEM dalam analisisnya yaitu Geo 5. Dengan menggunakan perangkat lunak Geo 5 evaluasi stabilitas tanggul CCSP (*Corrugated*

Concrete Sheet Pile) terhadap normalisasi sungai dilakukan dengan menggunakan fitur *sheeting check*.



Gambar 2. 6 Hasil *Sheeting Check*

Fitur *sheeting check* digunakan untuk menghitung analisis stabilitas internal beserta perilaku struktur terhadap gaya tekan dan deformasi yang bekerja. Hasil akhir (*output*) yang dihasilkan dari tahap *sheeting check* ini adalah angka faktor keamanan dinding penahan. Berikut ini adalah tahapan penggunaan *sheeting check* pada GEO 5 untuk mengevaluasi stabilitas CCSP terhadap normalisasi sungai

1. Membuka program Geo 5 2020
 - a. Klik dua kali file Geo 5 2020



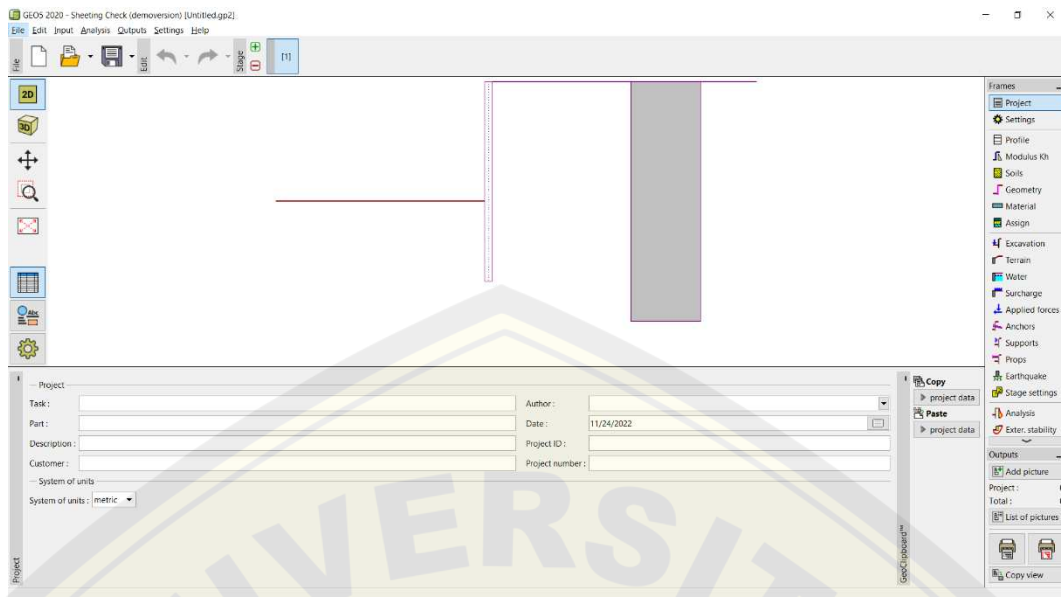
Gambar 2. 7 Tampilan Ikon Geo 5 2020

- b. Pilih aplikasi *sheeting check*



Gambar 2. 8 Tampilan aplikasi yang tersedia di Geo 5 2020

- c. Tampilan awal saat membuka *sheeting check*





Gambar 4. 1 Tampilan Awal Sheeting Check

2. Mengisi data project dan pengaturan sistem unit

— Project	
Task :	Evaluasi Stabilitas CCSP Terhadap Normalisasi Sungai Kemuning
Part :	STA 3+850 Sisi Kiri (Kondisi Tanpa Gempa)
Description :	
Customer :	S1 TEKNIK SIPIL UNEJ (SKRIPSI)
— System of units	
System of units :	metric ▼

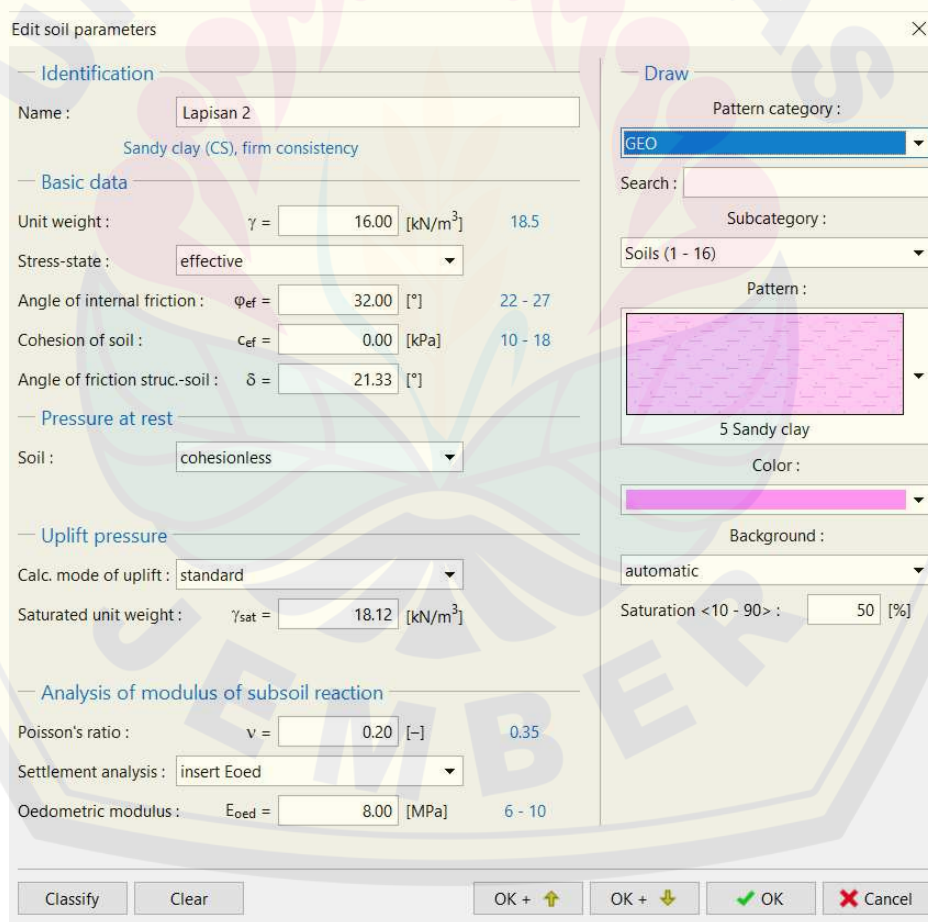
Gambar 2. 9 Data Project dan Sistem Unit GEO 5 2020

3. Mengisi parameter data tanah
 - a. Memilih opsi “*profile*” pada panel di sisi kanan untuk membuat profil lapisan tanah
 - b. Mengisi profil ketebalan lapisan tanah sesuai dengan data tanah.

No.	Thickness of layer t [m]	Depth z [m]	 Add	Position information
1	1.00	0.00 .. 1.00		Terrain elevation : <input type="text"/> [m]
2	4.00	1.00 .. 5.00		<input type="button" value="Coordinates GPS"/>  View on map
3	12.00	5.00 .. 17.00		GPS : (not specified)
4	2.00	17.00 .. 19.00		
5	1.00	19.00 .. 20.00		
6	-	20.00 .. ∞		

Gambar 2. 10 Membuat Profil Lapisan Tanah

- c. Memilih opsi “soil” pada panel di sisi kanan untuk membuka jendela parameter data tanah
- d. Mengisi parameter berupa berat volume tanah, berat volume terendam, sudut geser dalam, angka poisson, dan sudut geser tanah dengan struktur dinding penahan,



Edit soil parameters

Identification
Name : Lapisan 2
Sandy clay (CS), firm consistency

Basic data
Unit weight : $\gamma = 16.00$ [kN/m³] 18.5
Stress-state : effective
Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 32.00$ [°] 22 - 27
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0.00$ [kPa] 10 - 18
Angle of friction struc.-soil : $\delta = 21.33$ [°]

Pressure at rest
Soil : cohesionless

Uplift pressure
Calc. mode of uplift : standard
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 18.12$ [kN/m³]

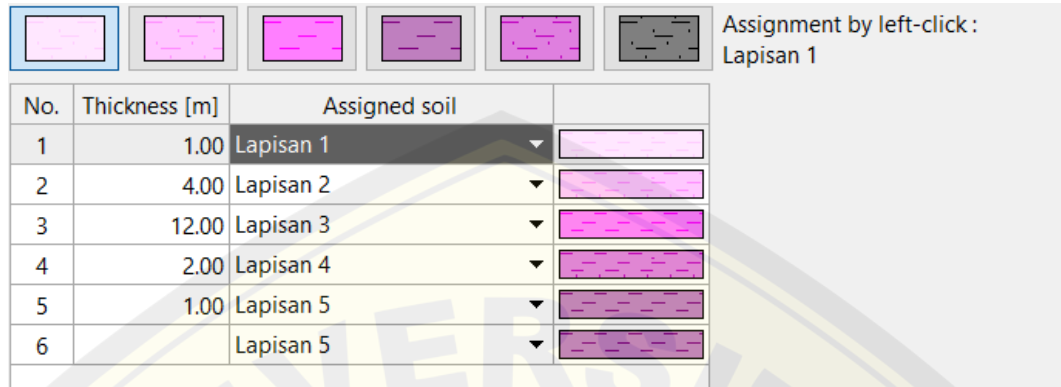
Analysis of modulus of subsoil reaction
Poisson's ratio : $\nu = 0.20$ [-] 0.35
Settlement analysis : insert Eoed
Oedometric modulus : $E_{oed} = 8.00$ [MPa] 6 - 10

Draw
Pattern category : GEO
Search :
Subcategory : Soils (1 - 16)
Pattern : 5 Sandy clay
Color :
Background : automatic
Saturation <10 - 90> : 50 [%]

Buttons: Classify, Clear, OK + ↑, OK + ↓, OK, Cancel

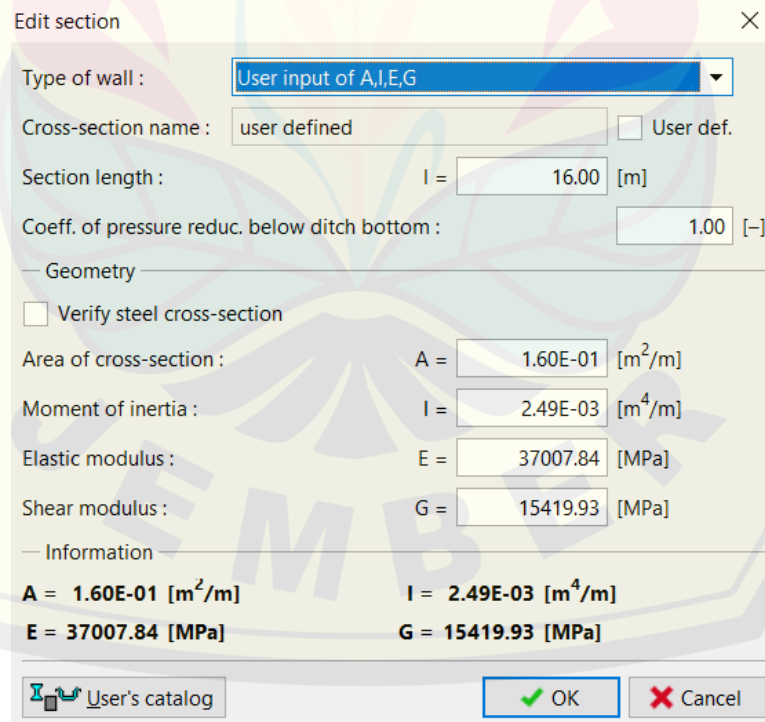
Gambar 2. 11 Panel Input Parameter Tanah GEO 5

- e. Memilih opsi “Assign” pada panel di sisi kanan untuk membuka jendela input jenis tanah pada profil yang sudah ditentukan.
- f. Memilih jenis tanah yang akan diinputkan pada setiap lapisan tanah



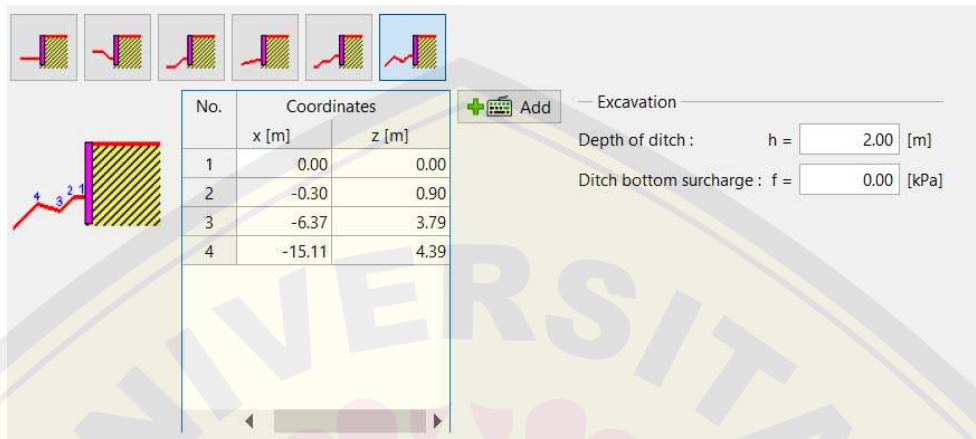
Gambar 2. 12 Pemilihan jenis tanah untuk setiap profil lapisan tanah

- 4. Menentukan tipe dan karakteristik dinding penahan tanah yang digunakan
 - a. Memilih opsi “Geometry” pada panel di sisi kanan untuk membuka jendela input parameter dinding penahan tanah.
 - b. Mengisi parameter dinding penahan tanah



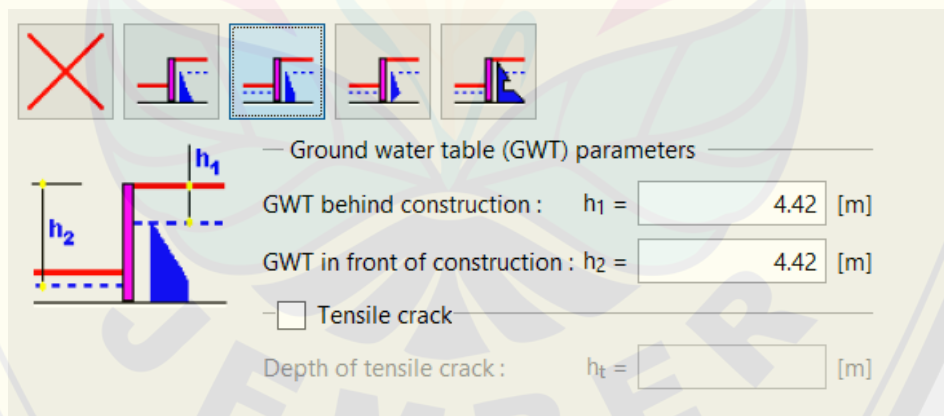
Gambar 2. 13 Input Parameter Dinding Penahan Tanah

5. Membuat bentuk kontur tanah
 - a. Memilih opsi “*excavation*” pada panel di sisi kanan untuk membuka jendela input kontur tanah.
 - b. Mengisi koordinat kontur tanah



Gambar 2. 14 Input koordinat kontur tanah

6. Mengisi tinggi muka air di depan dan belakang dinding penahan
 - a. Memilih opsi “*water*” pada panel di sisi kanan untuk membuka jendela input tinggi muka air
 - b. Mengisi tinggi muka air



Gambar 2. 15 Input tinggi muka air di depan dan belakang DPT

7. Memasukan beban di sisi atas dinding penahan
 - a. Memilih opsi “*surcharge*” pada panel di sisi kanan untuk membuka jendela input beban.
 - b. Mengisi nilai beban surcharge

New surcharge

Name :

— Surcharge properties —

Type :

Type of action :

— Surcharge magnitude —

Magnitude : $q =$ [kN/m²]

Gambar 2. 16 Input Beban *Surcharge*

8. Membuat struktur perkuatan tambahan
 - a. Memilih opsi “*Anchors*” pada panel di sisi kanan untuk membuka jendela input perkuatan tambahan.
 - b. Memilih tipe dan memasukan karakteristik struktur perkuatan tambahan

New anchor

Anchor type :

Name :

— Anchor parameters —

Depth : $z =$ [m]

Free length : $l =$ [m]

Root length : $l_k =$ [m]

Slope : $\alpha =$ [°]

Spacing : $b =$ [m]

— Stiffness —

Type of input :

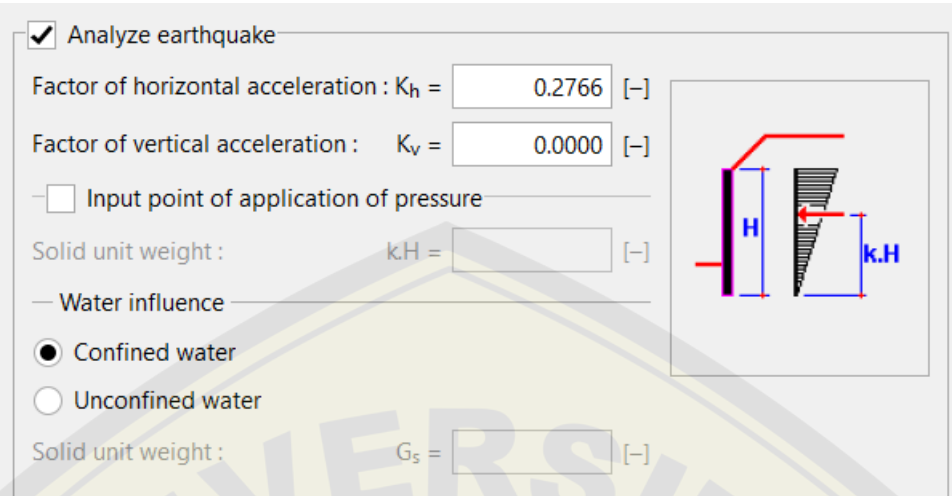
Diameter : $d_s =$ [mm]

Elasticity modulus : $E =$ [MPa]

Pre-stressing force : $F =$ [kN]

Gambar 2. 17 menentukan struktur perkuatan tambahan

9. Mengisi parameter koefisien gempa



Analyze earthquake

Factor of horizontal acceleration : $K_h =$ [-]

Factor of vertical acceleration : $K_v =$ [-]

Input point of application of pressure

Solid unit weight : $k.H =$ [-]

— Water influence —

Confined water

Unconfined water

Solid unit weight : $G_s =$ [-]

Gambar 2. 18 Jendela Input Parameter Koefisien Gempa

10. Melakukan perhitungan, perhitungan yang dapat dilakukan pada GEO 5 berupa stabilitas internal ankur, stabilitas global, dimensioning dan verifikasi kekuatan ankur

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang serupa dengan topik Evaluasi Stabilitas CCSP terhadap Normalisasi Sungai Kemuning Sampang dengan menggunakan metode elemen hingga, sebelumnya sudah pernah dilakukan. Diantaranya yaitu pada tahun 2019 Sajali dkk menerbitkan artikel jurnal yang berjudul “Analisa *Safety Factor Sheet Pile* Pada PLTMG Pontianak Peaker Dengan Aplikasi Geo5” pada penelitian tersebut *Sheet Pile* tipe CCSP dianalisa untuk mengetahui perencanaan CCSP yang aman dalam menahan tanah urugan baik pada kondisi normal ataupun gempa. Hasil analisa stabilitas CCSP dengan aplikasi Geo 5 diperoleh angka faktor keamanan berada diatas standar yang ditetapkan oleh Bowles yaitu $SF=2$ saat kondisi normal dan $SF=1,4$ saat kondisi gempa.

Penggunaan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga dalam merencanakan konstruksi dinding penahan tanah *sheet pile* juga dibuktikan oleh Aryo Laksmna Atibrata di tahun 2020 dalam penelitiannya yang berjudul “Perencanaan Dinding Penahan Tanah Jenis *Corrugated Concrete Sheet Pile*

(CCSP) Pada Pekerjaan Galian Apartemen Bengawan Malang”. Pada penelitian tersebut perangkat lunak Geo 5 digunakan untuk mengetahui kebutuhan panjang dan kedalaman pemancangan CCSP beserta *ground anchor*nya.

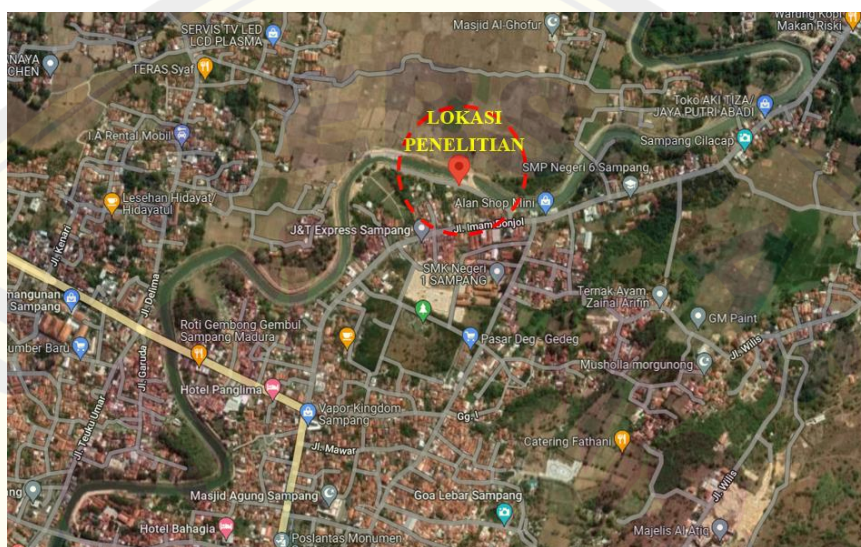
Tabel 2. 8 Matriks Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Penulis	Tahun	Tujuan	Metodologi	Hasil
1	Analisa <i>Safety Factor Sheet Pile</i> Pada PLTMG Pontianak Peaker Dengan Aplikasi Geo5	Sajali dkk	2019	Merencanakan <i>sheet pile</i> yang berfungsi untuk menahan air pada galian pondasi dinding penahan tanah	Merencanakan dan menganalisis stabilitas <i>sheet pile</i> beton dengan menggunakan program bantu Geo 5	Perencanaan stabilitas CCSP dengan aplikasi Geo 5 berada diatas standar yang ditetapkan oleh Bowles yaitu SF=2 saat kondisi normal dan SF=1.4 saat kondisi gempa
2	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Jenis <i>Corrugated Concrete Sheet Pile</i> (CCSP) Pada Pekerjaan Galian Apartemen Bengawan Malang	Aryo Laksmiana Atibrata	2020	Merencanakan dinding penahan tanah untuk pekerjaan galian apartemen	Merencanakan dan menganalisis stabilitas CCSP dengan <i>ground anchor</i> menggunakan program bantu Geo 5	Dengan aplikasi FEM Geo 5, diperoleh kedalaman tertanam CCSP 6,16 m dengan panjang total 15,6 m

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di area proyek Pengendalian Banjir Kali Kemuning tepatnya di Desa Dalpenang, Kecamatan Sampang, Kabupaten Sampang - Madura dengan koordinat lokasi $7^{\circ}11'16.3''S$ $113^{\circ}15'16.3''E$. lokasi penelitian ditampilkan secara visual dengan citra satelit pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian
(Sumber : maps.google.com, 2022)

3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan sebagai parameter evaluasi stabilitas tanggul CCSP (*Corrugated Concrete Sheet Pile*) terhadap normalisasi sungai adalah data sekunder yang diperoleh dari beberapa instansi. Data tersebut meliputi data hasil penyelidikan tanah, parameter gempa, dan potongan melintang sungai.

3.2.1 Data Hasil Penyelidikan Tanah

Data penyelidikan tanah yang digunakan meliputi data *bore log* hasil pengujian SPT (*Standard Penetration Test*), data geologi lapisan tanah penyusun dari hasil pengeboran inti di lokasi penelitian, serta data parameter fisik dan mekanik tanah. Data tersebut diperoleh dari PT Daya Cipta Dianrancana selaku konsultan pengawas dalam proyek Pengendalian Banjir Kali Kemuning.

3.2.2 Data Gempa

Data gempa digunakan sebagai parameter untuk evaluasi stabilitas tanggul CCSP (*Corrugated Concrete Sheet Pile*) terhadap normalisasi sungai. Data mengenai kegempaan diperoleh dari situs Desain Spektra Indonesia (<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>) dengan cara memasukan koordinat dan juga jenis kelas tanah di lokasi penelitian.

3.2.3 Gambar Potongan Melintang Sungai

Gambar Potongan melintang sungai digunakan untuk mengevaluasi stabilitas tanggul CCSP terhadap normalisasi sepanjang 500 m dengan interval kelipatan STA pada gambar setiap 50 m yaitu STA 3+450 s/d STA 3+950. gambar diperoleh dari PT Daya Cipta Dianrancana.

3.3 Analisis

Evaluasi stabilitas tanggul CCSP (*Corrugated Concrete Sheet Pile*) terhadap normalisasi sungai dilakukan dengan bantuan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga atau *Finite Elemen Method* (FEM) Geo 5, tahapan analisis terbagi menjadi empat tahap yaitu :

1. Menghitung gaya horizontal maksimum balok tarik dan minipile

Gaya horizontal maksimum (P_{maks}) digunakan sebagai nilai input dari perkuatan balok tarik dan *minipile* yang dimodelkan ke dalam bentuk angkur tipe *deadman* pada Geo 5 2020. Perhitungan P_{maks} didasarkan pada persamaan 2.1

2. Menghitung stabilitas awal tanggul

Perhitungan stabilitas awal tanggul dilakukan untuk mengetahui nilai *safety factor* pada kondisi eksisting tanggul sebelum adanya normalisasi pada kondisi normal (tanpa parameter gempa) dan kondisi gempa.

3. Menganalisa *safety factor* CCSP akibat pengerukan

Analisis *safety factor* CCSP dilakukan pada setiap perubahan kedalaman sungai akibat pengerukan dengan interval pengerukan setiap 1 m. pengerukan

dilakukan hingga mencapai SF kritis yang ditetapkan pada SNI 8460:2017 yaitu SF=1,1 saat kondisi gempa dan SF=1,5 saat kondisi normal.

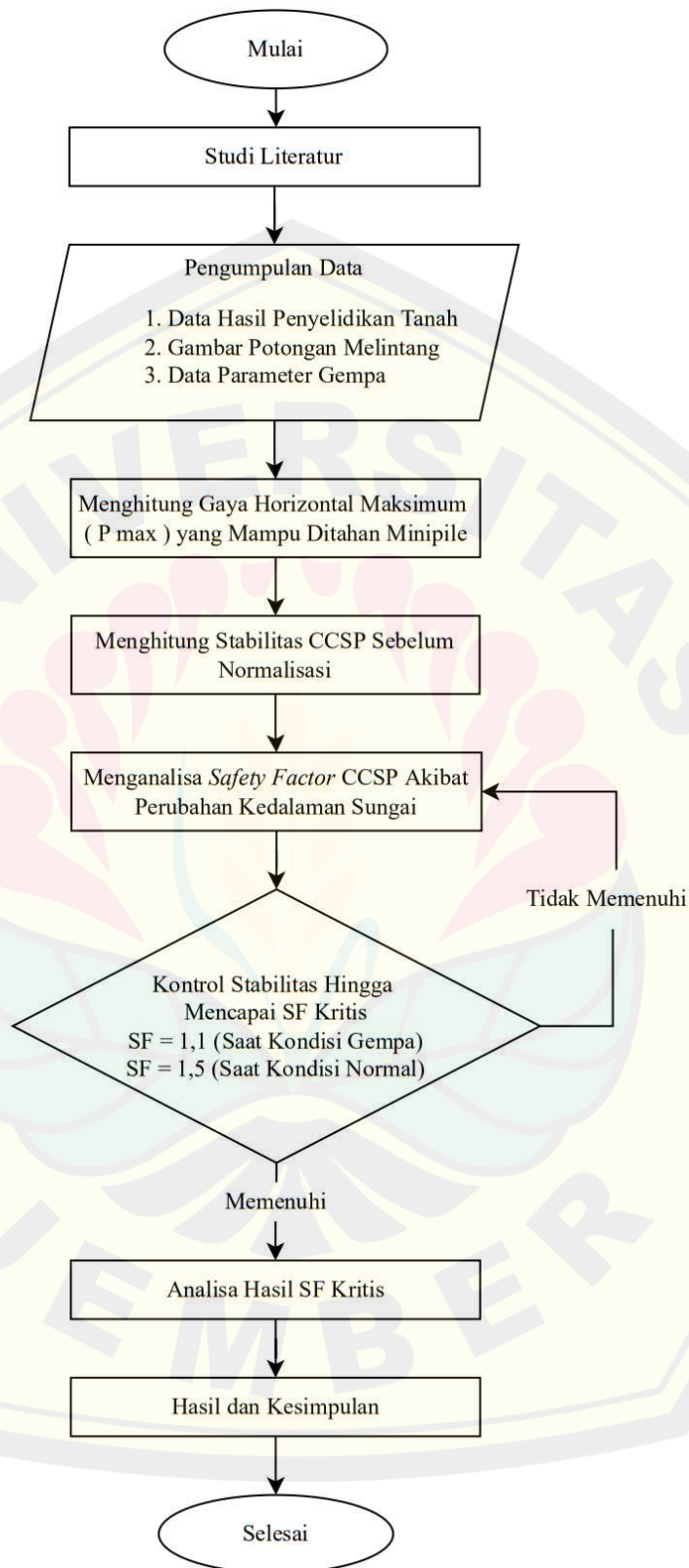
4. Analisa hasil perhitungan SF kritis

Hasil perhitungan *safety factor* pada setiap segmen sepanjang 500 m ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara kedalaman pengerukan dengan *safety factor*.

Perangkat lunak Geo 5 digunakan untuk membantu menganalisis *safety factor* pada tanggul CCSP akibat perubahan kedalaman yang disebabkan oleh normalisasi sungai. Langkah-langkah penggunaan Geo 5 adalah sebagai berikut.

1. Memasukan data parameter tanah
2. Mengatur bentuk dan karakteristik lapisan tanah
3. Membuat bentuk potongan melintang sungai
4. Membuat dinding penahan yang sesuai dengan karakteristik CCSP
5. Membuat perkuatan lateral tambahan tipe *deadman* dengan nilai gaya sesuai hasil perhitungan P_{maks} balok tarik
6. Mengatur kedalaman dan dimensi CCSP beserta perkuatan lateralnya
7. Memasukan parameter gempa
8. Melakukan simulasi normalisasi pada sungai
9. Melakukan analisa

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Tanah

Berikut ini adalah data tanah yang digunakan dalam mengevaluasi stabilitas CCSP (*corrugated concrete sheet pile*) terhadap normalisasi sungai menggunakan aplikasi *Sheeting Check Geo 5 2020*

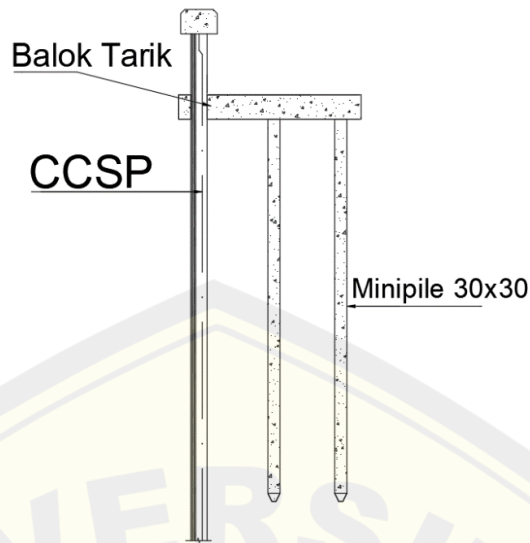
Tabel 4. 1 Parameter Data Tanah yang digunakan

Kedalaman (m)	Jenis	γ (kN/m ³)	ϕ_{soil} ($^{\circ}$)	C (Kpa)	$\phi_{\text{struc-soil}}$ ($^{\circ}$)	γ_{sat} (kN/m ³)	V
0 - 1	<i>Sandy Clay</i>	16	27	19,613	18	16,625	0,2
1 - 5	<i>Sandy Clay</i>	16	32	0	21,333	18,125	0,2
5 - 17	<i>Clay</i>	17,037	20	24,517	13,333	20,143	0,4
17 - 19	<i>Sandy Clay</i>	17,333	27	19,613	18	20,714	0,2
19 - 20	<i>Clay</i>	18,222	20	39,227	13,333	20,2	0,4
(Timbunan)	<i>Sandy Clay</i>	18.633	25	19.610	16.670	19	0.2

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).

4.2 Perhitungan Gaya Balok Tarik dan *Minipile*

Balok tarik dan *minipile* digunakan sebagai perkuatan tambahan tanggul CCSP dalam menahan gaya lateral tanah, penerapannya di lapangan berupa dua buah *minipile* dengan masing-masing panjang 10 m ditanam satu baris di belakang CCSP kemudian diikat dengan menggunakan balok tarik. Penggunaan kombinasi balok tarik dan *minipile* semacam ini sebagai perkuatan tambahan dinding penahan tanah tidak tersedia di aplikasi *Sheeting Check Geo 5 2020*. Perkuatan yang tersedia di *Geo 5 2020* berupa ankur dengan lima tipe yaitu batang prategang (*prestressed bar*), batang non-prategang (*non-prestressed bar*), *strand*, *helical*, dan *deadman*.



Gambar 4. 2 Perkuatan Balok Tarik dan Minipile

Untuk memodelkan perkuatan tambahan CCSP tersebut di Geo 5 2020, balok tarik dan *minipile* dimodelkan sebagai ankur dengan tipe *deadman*. *Deadman* dipilih karena tipe tersebut tidak memerlukan adanya sudut kemiringan pada pemasangannya. Sehingga apabila dibandingkan dengan ankur tipe lainnya, ankur tipe *deadman* adalah yang paling mendekati dengan perkuatan balok tarik dan minipile.

Anchor type :

Name :

— Anchor parameters —

Depth : $z =$ [m]

Overall length : $l =$ [m]

Spacing : $b =$ [m]

— Tension strength —

input $R_t =$ [kN]

— Pull out resistance (soil) —

input $R_e =$ [kN]

Deadman in different soil

— Stiffness —

Type of input :

Area of cross-section : $A =$ [mm²]

Elasticity modulus : $E =$ [MPa]

Gambar 4. 3 Ankur Tipe Deadman di Geo 5 2020

(Sumber : Geo 5, 2022)

Untuk membuat pemodelan angkur tipe deadman serupa dan juga mempresentasikan penerapan balok tarik dan minipile pada Geo 5 2020. Kekuatan tegangan *deadman* diisi dengan kekuatan maksimal balok tarik dan *minipile* dalam menahan gaya horizontal (Pmaks). Gaya horizontal maksimum (Pmaks) dihitung dengan cara berikut :

Diketahui :

$$\text{Dimensi penampang mipile} = 30 \times 30 \text{ cm}$$

$$\text{Cu tanah dasar} = 0,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Elastisitas (E)} = 100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Momen Lentur Bahan} = 6,52 \text{ tm}$$

a. Menghitung momen inersia penampang minipile (I)

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I = \frac{(30) \cdot (30)^3}{12}$$

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

b. Mencari nilai koefisien dari variasi modulus tanah (f)

$$qu = 2 \cdot Cu$$

$$qu = 2 (0,25)$$

$$qu = 0,50 \text{ kg/cm}^2$$

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

Nilai qu diplot pada grafik hubungan nilai f dan qu, kemudian diperoleh

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

$$f = 6 \times 0,032$$

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

c. Menghitung faktor kekakuan relatif (T)

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

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

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

d. Momen Lentur yang bekerja pada minipile (Mp)

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

$$Mp = 591484,448 \text{ kgcm}$$

e. Mencari nilai FM dari grafik hubungan L/T

Nilai L yang ditinjau berada di titik pertemuan balok tarik dengan *minipile* sehingga

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

$$\frac{L}{T} = \frac{0}{128,588}$$

$$\frac{L}{T} = 0$$

$$FM = -1$$

f. Menghitung kekuatan *minipile* dalam menahan gaya horizontal maksimal (Pmax)

$$P_{max} = \frac{Mp}{FM \cdot T}$$

$$P_{max} = \frac{591484,448}{-1 \times 128,588}$$

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

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

Karena minipile yang digunakan ada dua buah maka gaya yang nantinya diinputkan pada angkur sebesar dua kali gaya horizontal maksimal minipile yaitu :

$$2 \times 45,109 \text{ kN} = 90,2181 \text{ kN}$$

4.3 Input parameter data pada Geo 5

Selain data tanah, parameter yang harus diinputkan pada Geo 5 dalam mengevaluasi stabilitas CCSP terhadap normalisasi sungai meliputi data karakteristik CCSP, beban surcharge, dan koefisien gempa. CCSP yang digunakan

adalah tipe W400 mutu beton FC 62 Mpa dengan karakteristik yang diperoleh dari brosur wika beton. Berikut merupakan parameter CCSP, beban, dan gempa yang digunakan:

a. Karakteristik CCSP

Panjang	: 16 m
<i>Area of cross section</i>	: 0,1598 m ²
<i>Moment of inertia</i>	: 0,0024 m ⁴
<i>Elastic modulus</i>	: 37007,837 Mpa
<i>Shear modulus</i>	: 15419,932 Mpa

b. Beban *surcharge*

Beban *surcharge* yang digunakan merupakan bentuk dari beban kerja normalisasi. Beban dihitung dari beban kerja alat berat yang digunakan dalam normalisasi. Total beban normalisasi sebesar 50 kN/m²

c. Koefisien gempa

Koefisien gempa horizontal (K_h) mengacu pada nilai *peak ground acceleration* (PGA) yang diperoleh pada situs respon spektra. Untuk wilayah sungai kemuning memiliki nilai $PGA=0,2766$.

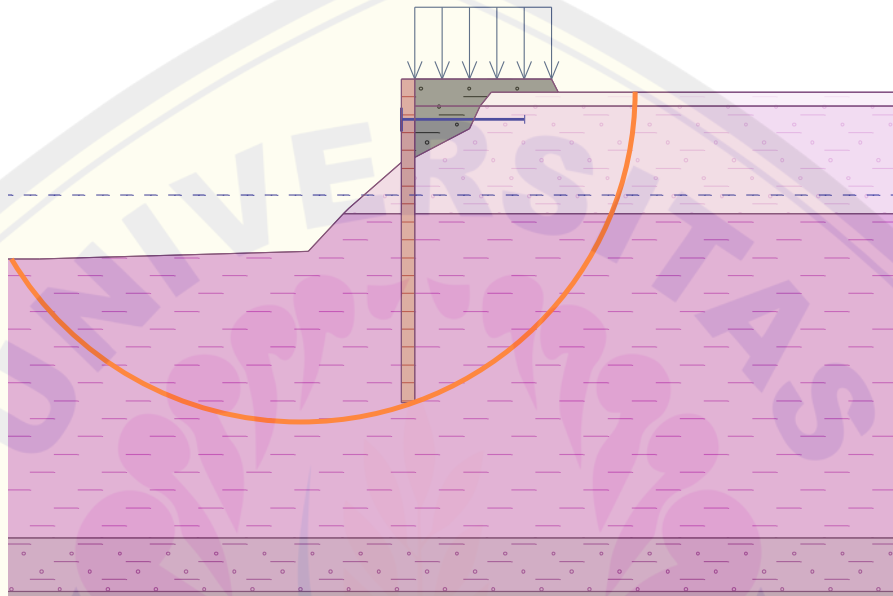
PGA MCEG	0.2766	(g) bedrock
SS MCEr	0.5709	(g) bedrock
S1 MCEr	0.2677	(g) bedrock
TL	20	Detik

Gambar 4. 4 Koefisien Gempa Horizontal

(Sumber : RSA Ciptakarya, 2022)

4.4 Perhitungan Stabilitas Eksisting (Sebelum Normalisasi)

Perhitungan stabilitas eksisting dilakukan pada dua kondisi yaitu kondisi gempa dan tanpa gempa. Bentuk permodelan pada STA 3+500 sisi kanan ditampilkan pada gambar 4.7, sedangkan hasil permodelan pada STA lainnya dicantumkan pada lampiran. Hasil perhitungan stabilitas untuk masing-masing STA ditampilkan dalam tabel 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5.



Gambar 4. 5 Permodelan STA 3+500 Sisi Kanan

(Sumber : Hasil Analisa, 2022)

a. Kondisi Gempa (Sisi Kanan)

Total tekanan tanah aktif (P_A)	: 1439,29 kN
Total tekanan tanah pasif (P_P)	: 1883,43 kN
Momen gelincir (M_A)	: 29577,47 kN.m
Momen tahanan (M_P)	: 38704,57 kN.m
<i>Safety factor</i> (SF)	: 1,31

b. Kondisi Normal (Sisi Kanan)

Total tekanan tanah aktif (P_A)	: 603,76 kN
Total tekanan tanah pasif (P_P)	: 1541,30 kN
Momen gelincir (M_A)	: 7414,19 kN.m

Momen tahanan (M_P) : 18927,22 kN.m

Safety factor (SF) : 2,55

Tabel 4. 2 Stabilitas Eksisting Kondisi Normal Sisi Kanan

STA	F_A kN	F_P kN	M_A kN.m	M_P kN.m	SF
3+450	648,79	1660,25	8330,44	21317,61	2,56
3+500	603,76	1541,30	7414,19	18927,22	2,55
3+550	657,83	1547,17	8347,85	19633,56	2,35
3+600	658,19	1476,49	7970,62	17880,3	2,24
3+650	676,11	1818,07	8917,87	23980,31	2,69
3+700	650,64	1528,35	7950,80	18676,43	2,35
3+750	655,49	1528,90	8036,28	18744,36	2,33
3+800	625,54	1602,27	8000,68	20493,08	2,56
3+850	689,50	1569,66	8825,58	20091,62	2,28
3+900	689,77	1624,88	8863,57	20879,69	2,36
3+950	655,24	1677,41	8406,67	21521,23	2,56

Tabel 4. 3 Stabilitas Eksisting Kondisi Normal Sisi Kiri

STA	F_A kN	F_P kN	M_A kN.m	M_P kN.m	SF
3+450	-	-	-	-	-
3+500	653,49	1650,17	8449,69	21336,73	2,53
3+550	624,03	1622,52	7787,87	20249,08	2,6
3+600	620,70	1743,87	8081,53	22705,15	2,81
3+650	676,10	1745,52	8843,38	22831,42	2,58
3+700	635,84	1787,26	8666,48	24360,29	2,81
3+750	605,22	1682,61	7892,08	21941,23	2,78
3+800	607,57	1688,49	7685,73	21359,41	2,78
3+850	630,32	1717,87	8345,41	22744,57	2,72
3+900	626,55	1684,67	7907,07	21260,53	2,69
3+950	638,66	1644,56	8066,35	20770,85	2,57

Tabel 4. 4 Stabilitas Eksisting Kondisi Gempa Sisi Kanan

STA	F_A kN	F_P kN	M_A kN.m	M_P kN.m	SF
3+450	1537,71	2017,64	32076,53	42087,90	1,31
3+500	1439,29	1883,43	29577,47	38704,57	1,31
3+550	657,83	1547,17	8347,85	19633,56	1,28
3+600	1454,14	1911,52	30187,90	39683,07	1,31
3+650	1714,43	2251,40	44043,81	57838,34	1,31
3+700	1289,61	1716,33	20388,70	27135,11	1,33
3+750	1462,68	1871,42	29853,24	38195,72	1,28
3+800	1462,55	1920,09	29177,97	38305,87	1,31
3+850	1480,98	1867,35	30404,43	38336,62	1,26
3+900	1566,40	1936,60	34116,28	42179,11	1,24
3+950	1542,89	1968,72	33094,97	42229,04	1,23

Tabel 4. 5 Stabilitas Eksisting Kondisi Gempa Sisi Kiri

STA	F_A kN	F_P kN	M_A kN.m	M_P kN.m	SF
3+450	-	-	-	-	-
3+500	1626,51	2083,68	39491,68	50591,72	1,28
3+550	1576,32	2033,22	39581,42	51054,06	1,29
3+600	1645,09	2155,74	41094,26	53850,49	1,31
3+650	1714,27	2153,16	42496,85	53376,82	1,26
3+700	1700,75	2208,33	41566,38	53971,56	1,30
3+750	1680,98	2173,49	40898,32	52881,09	1,29
3+800	1637,43	2147,81	40133,48	52642,70	1,31
3+850	1642,57	2118,85	40587,86	52356,71	1,29
3+900	1630,92	2128,42	39664,03	51763,11	1,31
3+950	1629,91	2083,93	39655,81	50701,92	1,28

Dari hasil perhitungan stabilitas eksisting diketahui nilai SF rata-rata untuk kondisi gempa dan tanpa gempa masing-masing sebesar 1,29 dan 2,55. 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). *Safety factor* 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).

Perhitungan stabilitas eksisting tanggul CCSP dilakukan untuk mengetahui nilai *safety factor* (SF) pada STA 3+450 s/d STA 3+950 sebelum adanya simulasi pengerukan sungai. Perhitungan SF eksisting bertujuan untuk menentukan bisa atau tidaknya normalisasi dilakukan apabila ditinjau dari aspek stabilitas tanggul yang sudah ada. Normalisasi boleh dilakukan apabila nilai $SF > 1,1$ untuk kondisi gempa dan $SF > 1,5$ saat kondisi tanpa gempa. Nilai SF mengacu persyaratan minimum stabilitas dinding penahan pada kondisi gempa dan tanpa gempa SNI 8460 : 2017.

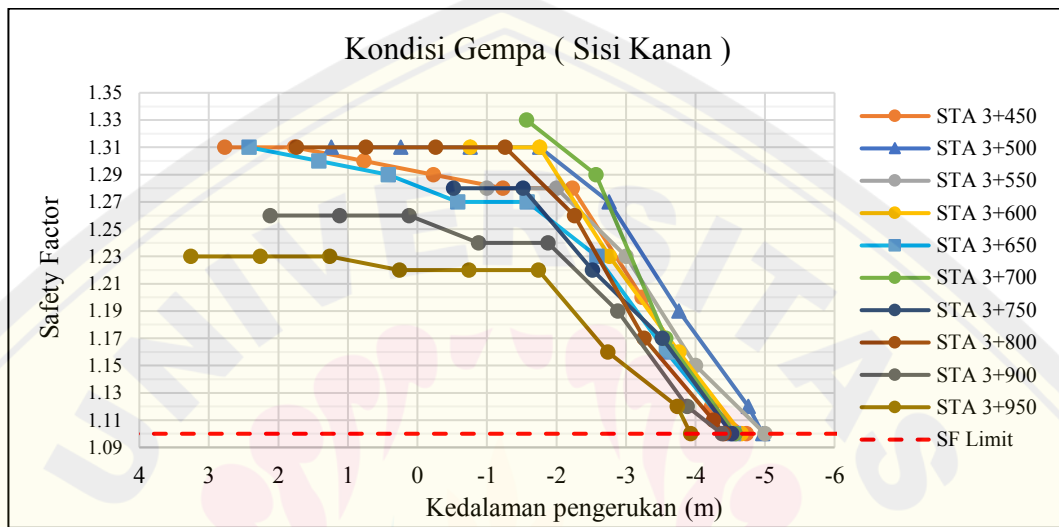
Hasil perhitungan stabilitas eksisting menunjukkan nilai SF untuk masing masing STA seluruhnya berada diatas nilai SF limit yang sudah ditentukan. Oleh karena itu normalisasi aman untuk dilakukan pada seluruh STA.

4.5 Analisa Safety Factor Akibat Perubahan Kedalaman Sungai

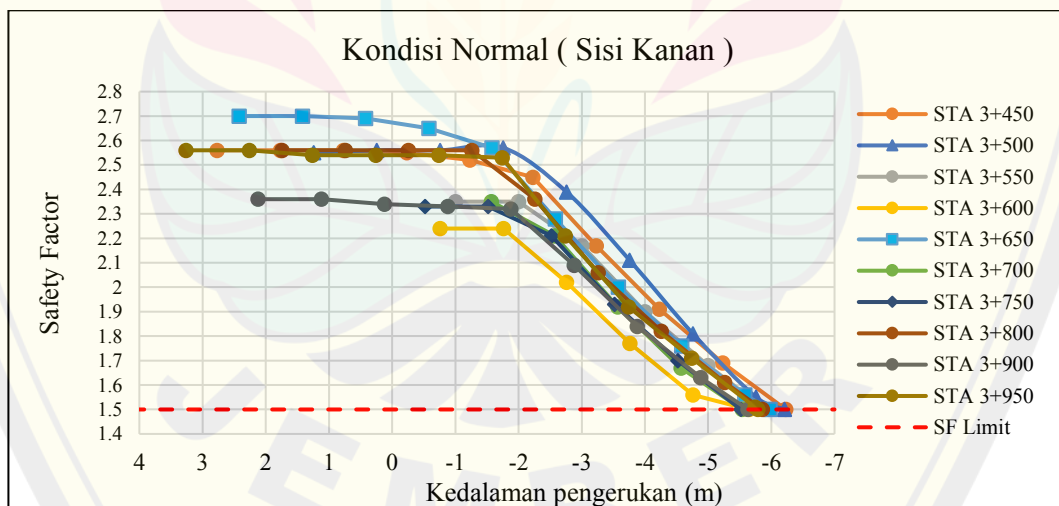
Pengaruh perubahan kedalaman sungai terhadap *safety factor* tanggul CCSP ditampilkan ke dalam grafik hubungan antara kedalaman pengerukan dengan *safety factor*. Berikut adalah grafik hubungan pada STA 3+450 s/d STA 3+950. Grafik 4.1 dan 4.2 menunjukkan hubungan *safety factor* dengan kedalaman pengerukan pada kondisi gempa dan normal di sisi kanan sungai. Sedangkan grafik 4.3 dan 4.4 masing-masing menunjukkan hubungan *safety factor* dengan kedalaman pengerukan pada sisi kiri sungai.

Simulasi pengerukan dilakukan dengan interval kedalaman 1 m yang kemudian dihitung *safety factornya*. Langkah tersebut dilakukan berulang kali hingga mencapai SF limit. Titik nol yang menjadi acuan elevasi kedalaman pengerukan adalah elevasi muka air sungai pada kondisi normal.

Grafik 4. 1 Perubahan SF Akibat Pengerukan Kondisi Gempa Sisi Kanan



Grafik 4. 2 Perubahan SF Akibat Pengerukan Kondisi Normal Sisi Kanan

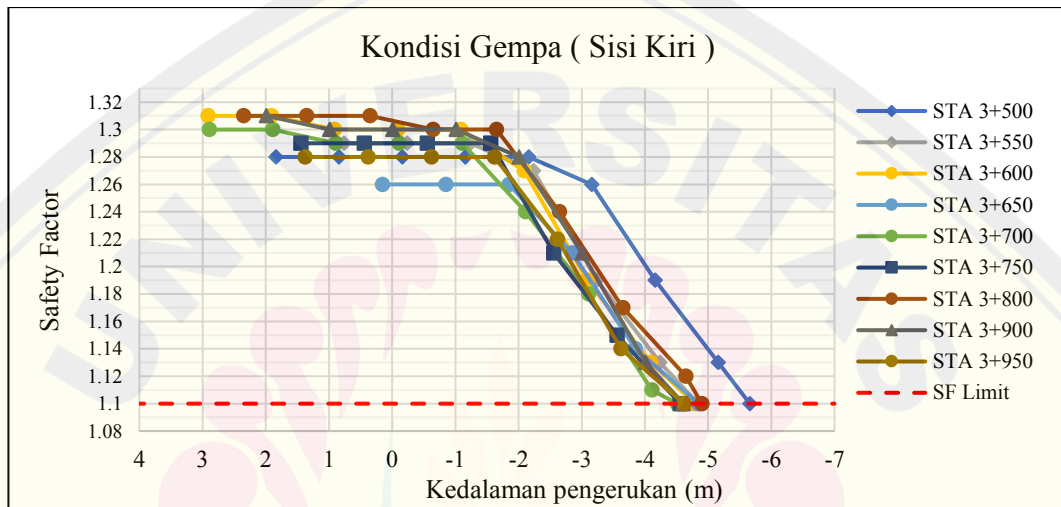


Pada Grafik 4.1 dan 4.2 terdapat beberapa STA yang kedalaman pengerukannya tidak dimulai dari nilai nol sumbu x, hal ini disebabkan titik nol yang menjadi acuan pengerukan adalah elevasi muka air normal sungai sedangkan pada STA 3+450, 3+500, 3+650, 3+800, 3+850, 3+900, dan 3+950 memiliki permukaan sedimen

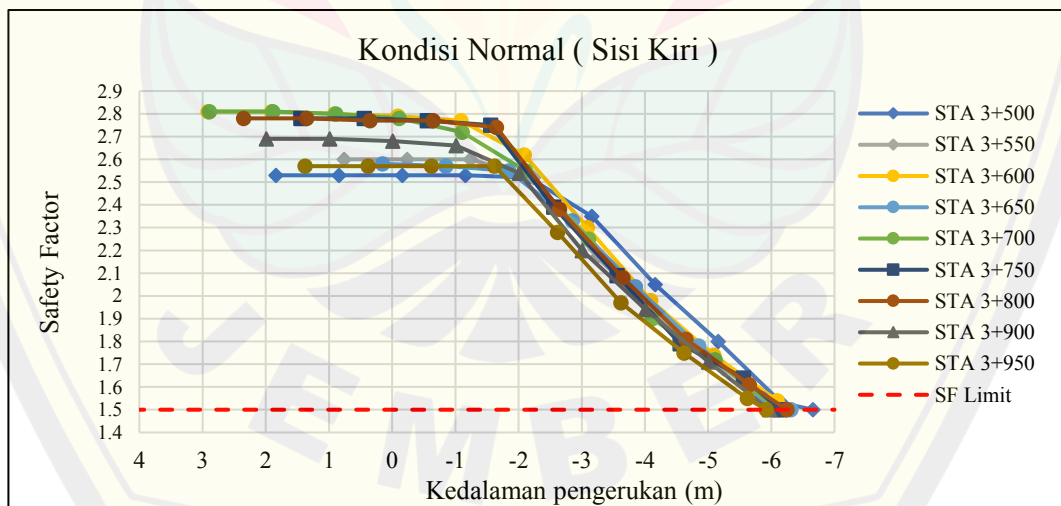
yang elevasinya berada di atas muka air sungai. Oleh sebab itu pengerukan dimulai dari nilai yang positif (+) karena berada di atas elevasi muka air sungai.

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 (-).

Grafik 4. 3 Perubahan SF Akibat Pengerukan Kondisi Gempa Sisi Kiri



Grafik 4. 4 Perubahan SF Akibat Pengerukan Kondisi Normal Sisi Kiri



Pada Grafik 4.3 dan 4.4 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.

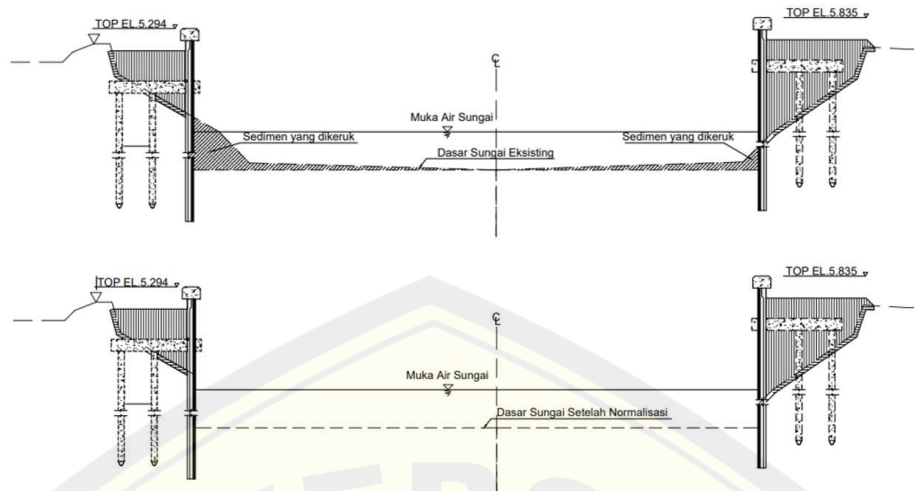
Dari hasil perhitungan yang dilakukan di setiap STA menunjukkan adanya hubungan yang berbanding terbalik antara *safety factor* dengan kedalaman pengerukan. Nilai *safety factor* sendiri dipengaruhi oleh perbandingan antara tekanan tanah aktif dengan tanah pasif ($SF = P_P/P_A$). Salah satu parameter yang menentukan nilai dari tekanan tanah pasif adalah kedalaman tertanam dinding penahan tanah.

Dalam kaitannya dengan normalisasi sungai, pengerukan yang dilakukan terhadap sedimen sungai mengakibatkan kedalaman tertanam tanggul CCSP berkurang yang berakibat pada berkurangnya tekanan tanah pasif sehingga membuat *safety factor* menurun. *Safety factor* akibat pengerukan turut dipengaruhi oleh bervariasinya bentuk kontur tanah pada masing-masing STA, STA yang memiliki sudut kemiringan lereng yang besar akan memiliki gaya dorong yang besar pula (Shobari *et al.*, 2019). Nilai SF tertinggi berada di STA 3+700 sisi kiri hal tersebut memungkinkan karena bentuk lereng yang tidak terlalu curam di depan tanggul CCSP dan timbunan yang tidak terlalu banyak. Kondisi demikian menghasilkan nilai SF yang lebih dibanding dengan STA lainnya.

Selain bentuk kontur tanah, tinggi muka air yang berada di depan dan di belakang dinding penahan tanah juga memengaruhi stabilitas yang terjadi. Muka air yang tinggi mengakibatkan tanah menjadi terendam sehingga menambah beban tanah dan meningkatkan terjadinya keruntuhan (Ardiansyah, 2017).

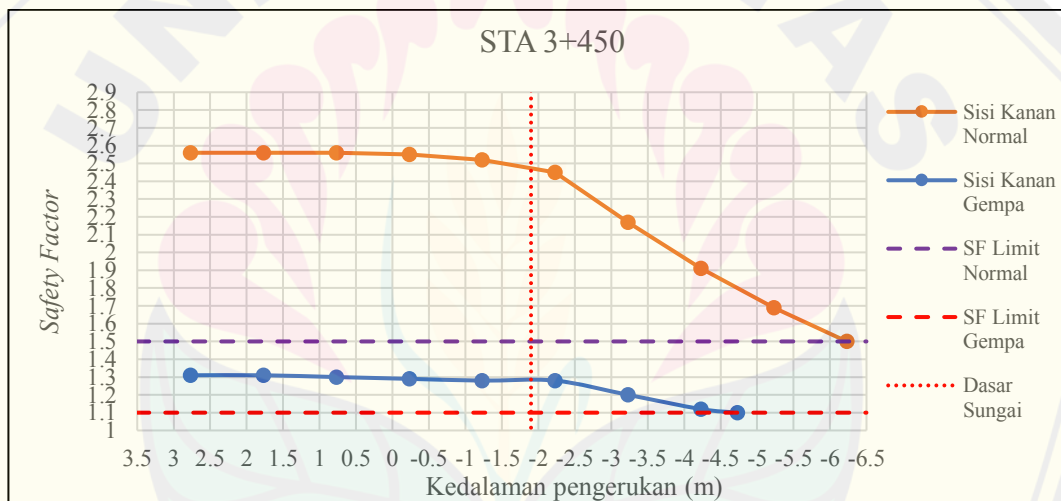
4.6 Penerapan Normalisasi Pada Kedalaman Elevasi Dasar Sungai

Walaupun dari hasil perhitungan stabilitas tanggul CCSP mampu untuk menghadapi normalisasi dengan elevasi pengerukan lebih dari 5 m. Perlu diperhatikan bahwasanya dalam menentukan elevasi kedalaman pengerukan sungai turut dipertimbangkan elevasi dasar sungai yang berada di bagian hilir atau muara. Oleh karena itu normalisasi yang penulis coba terapkan adalah dengan cara mengeruk sedimen pada kedalaman sebatas elevasi dasar sungai. Skema normalisasi ditampilkan pada gambar 4.8 sedangkan hasil perhitungan untuk masing-masing STA ditampilkan pada grafik 4.5 sampai 4.16



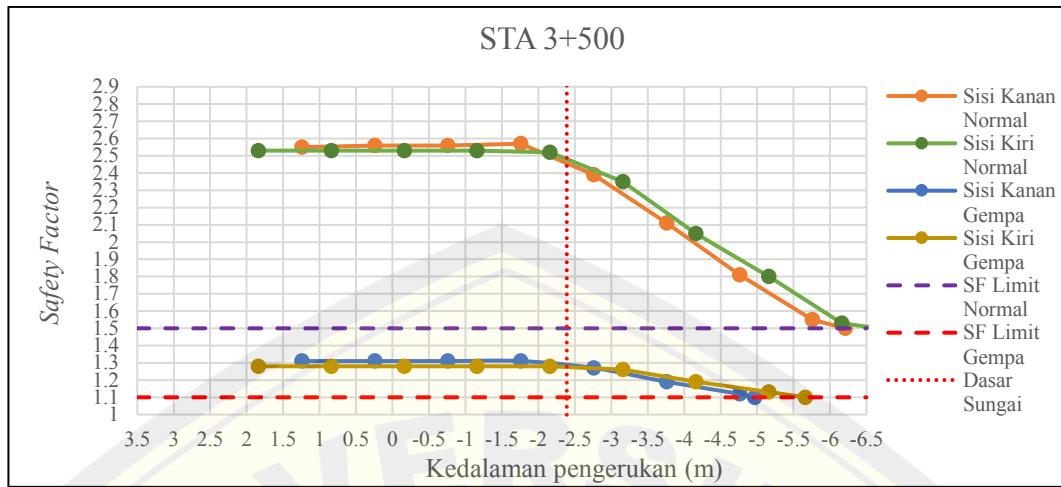
Gambar 4. 6 Skema Normalisasi Sungai

Grafik 4. 5 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+450



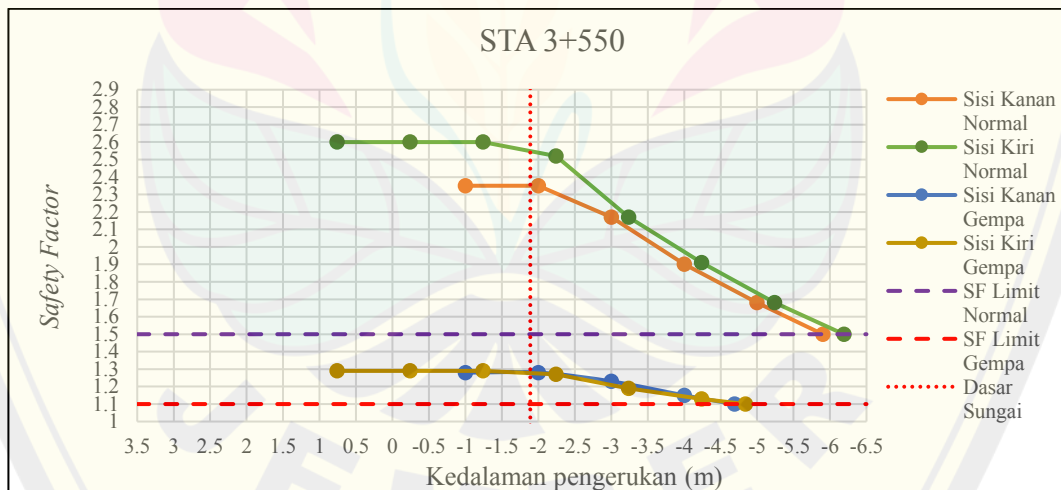
Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+450 menghasilkan *safety factor* dengan nilai SF=1,28 pada kondisi gempa dan SF= 2,41 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 1,9 m dibawah muka air normal sungai

Grafik 4. 6 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+500



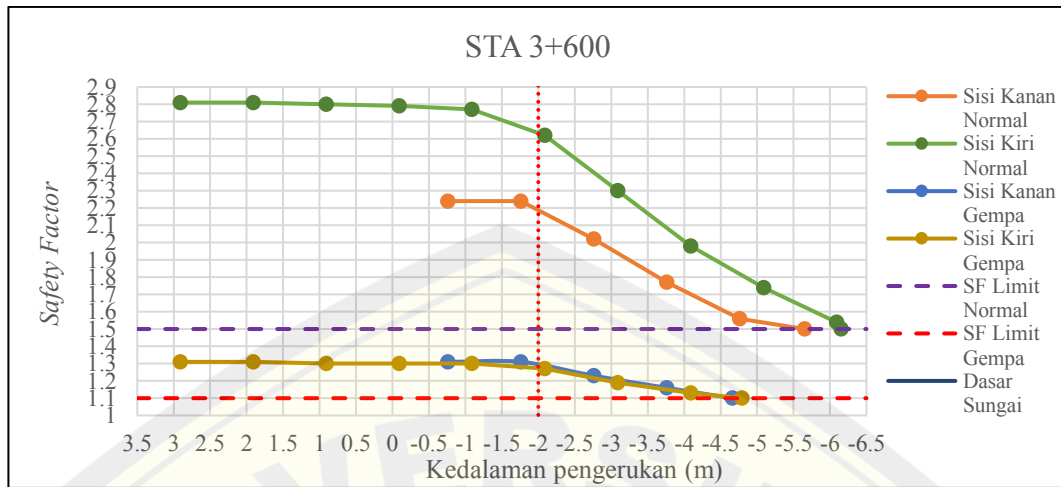
Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+500 menghasilkan *safety factor* dengan nilai rata-rata SF=1,29 pada kondisi gempa dan SF= 2,43 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 2,39 m dibawah muka air normal sungai

Grafik 4. 7 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+550



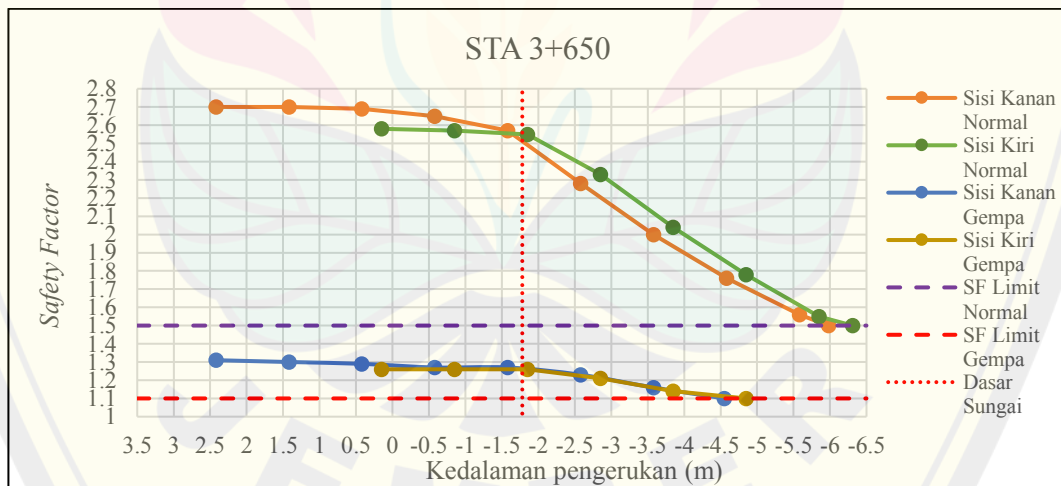
Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+550 menghasilkan *safety factor* dengan nilai rata-rata SF=1,26 pada kondisi gempa dan SF= 2,31 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 1,89 m dibawah muka air normal sungai

Grafik 4. 8 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+600



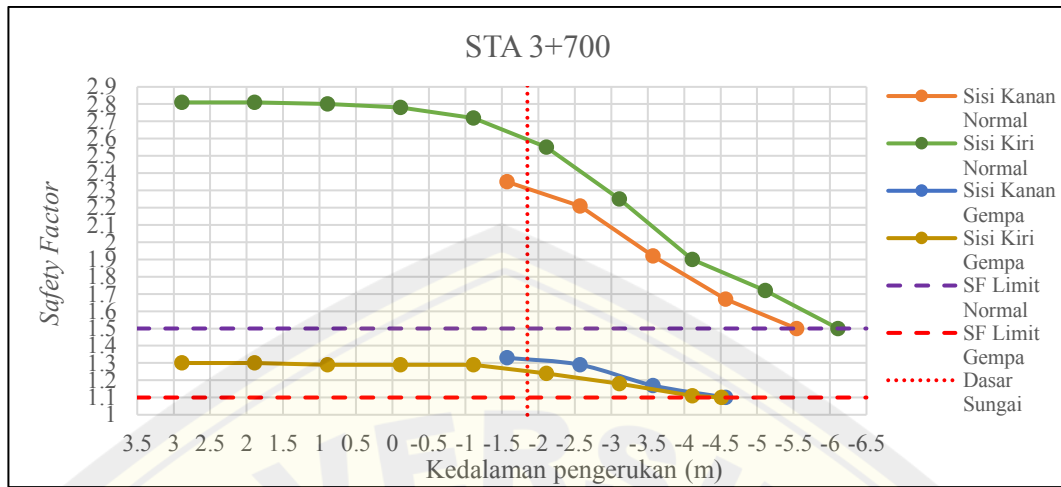
Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+600 menghasilkan *safety factor* dengan nilai rata-rata SF=1,29 pada kondisi gempa dan SF= 2,48 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 2 m dibawah muka air normal sungai

Grafik 4. 9 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+650



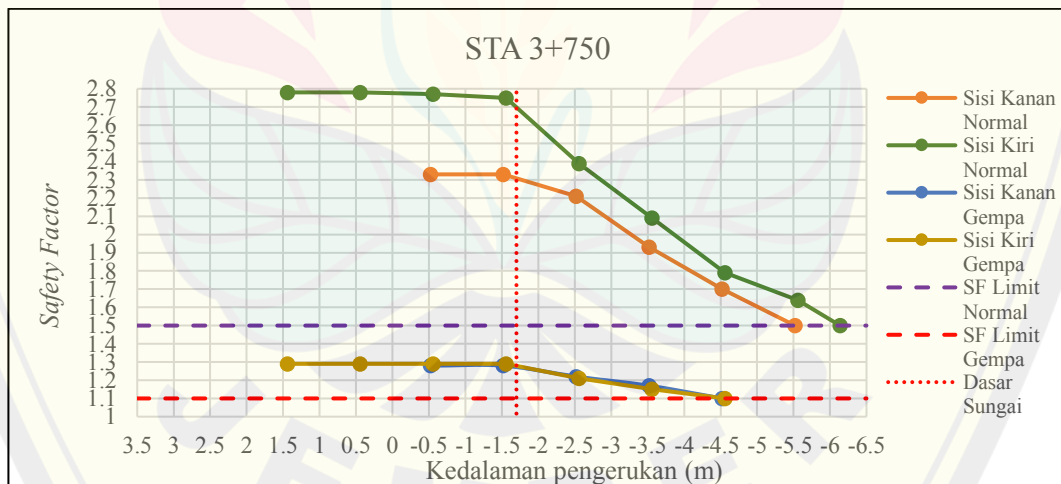
Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+650 menghasilkan *safety factor* dengan nilai rata-rata SF=1,26 pada kondisi gempa dan SF= 2,54 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 1,78 m dibawah muka air normal sungai

Grafik 4. 10 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+700



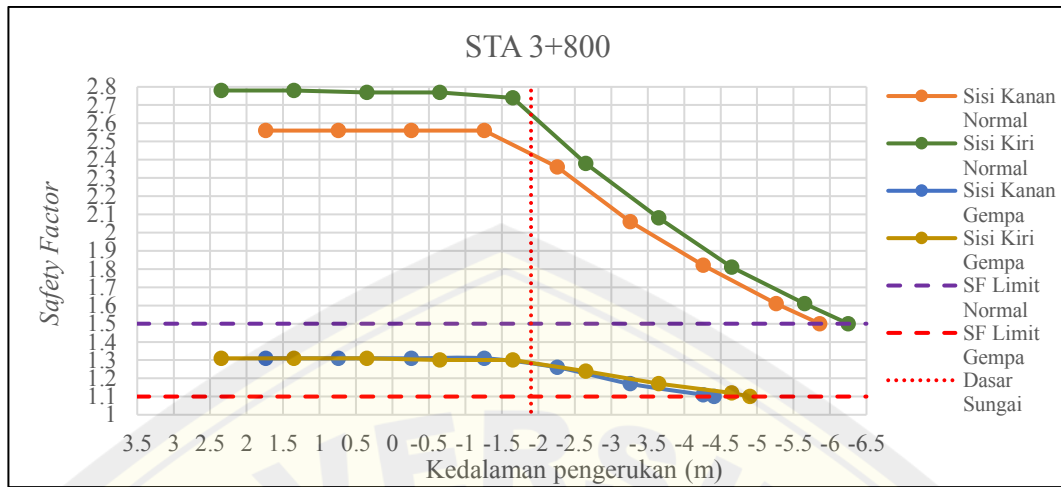
Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+700 menghasilkan *safety factor* dengan nilai rata-rata SF=1,25 pada kondisi gempa dan SF= 2,3 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 1,85 m dibawah muka air normal sungai

Grafik 4. 11 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+750



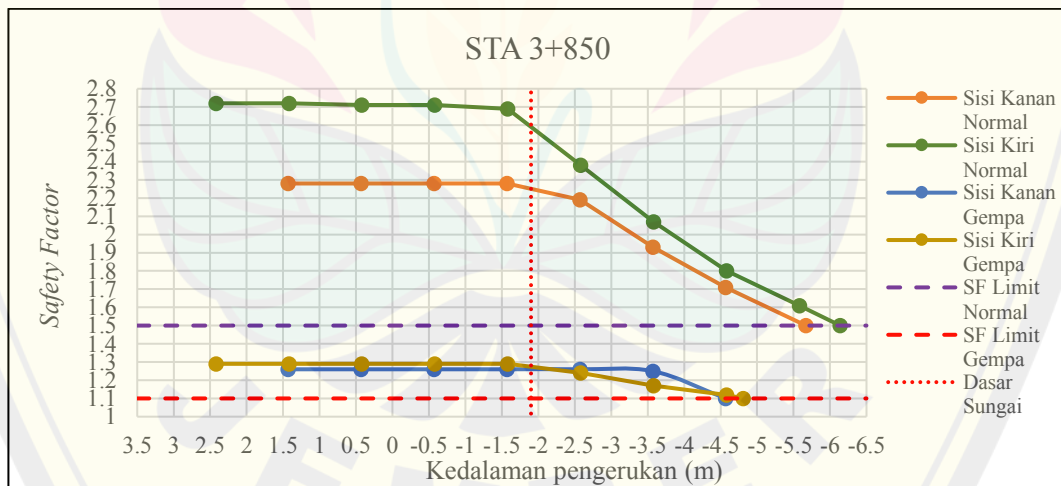
Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+750 menghasilkan *safety factor* dengan nilai rata-rata SF=1,28 pada kondisi gempa dan SF= 2,45 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 1,7 m dibawah muka air normal sungai

Grafik 4. 12 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+800



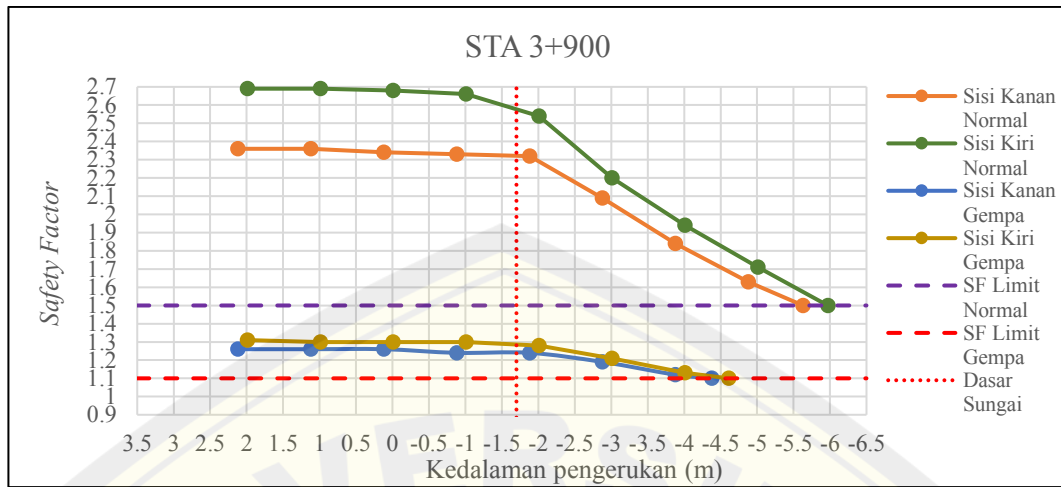
Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+800 menghasilkan *safety factor* dengan nilai rata-rata SF=1,28 pada kondisi gempa dan SF= 2,6 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 1,9 m dibawah muka air normal sungai

Grafik 4. 13 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+850



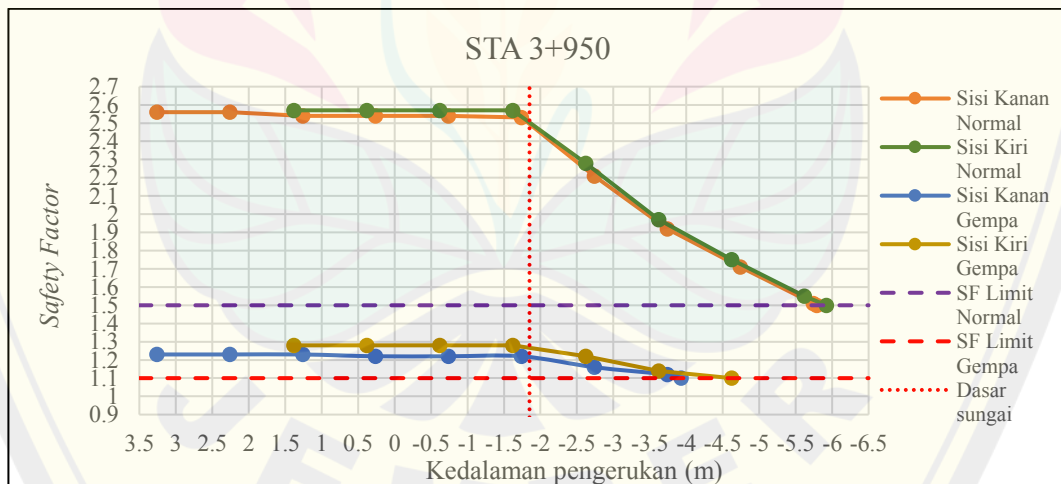
Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+850 menghasilkan *safety factor* dengan nilai rata-rata SF=1,26 pada kondisi gempa dan SF= 2,46 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 1,9 m dibawah muka air normal sungai

Grafik 4. 14 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+900



Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+900 menghasilkan *safety factor* dengan nilai rata-rata SF=1,26 pada kondisi gempa dan SF= 2,5 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 1,7 m dibawah muka air normal sungai

Grafik 4. 15 SF Saat Normalisasi Pada Elevasi Dasar Sungai STA 3+950



Normalisasi yang dilakukan pada elevasi dasar sungai di STA 3+950 menghasilkan *safety factor* dengan nilai rata-rata SF=1,27 pada kondisi gempa dan SF= 2,54 pada kondisi normal. Nilai SF tersebut dihasilkan saat pengerukan dilakukan pada kedalaman 1,85 m dibawah muka air normal sungai

Dari hasil perhitungan *safety factor* saat dilakukannya normalisasi pada batas elevasi dasar sungai, diketahui bahwa stabilitas tanggul CCSP masih aman saat dilakukannya normalisasi karena memiliki *safety factor* diatas persyaratan minimum stabilitas pada SNI 8460:2017 baik pada kondisi gempa ($SF=1,1$) dan tanpa gempa ($SF=1,5$).

4.7 Batas Elevasi Kedalaman Maksimal Pengerukan

Dari hasil perhitungan dan analisa stabilitas CCSP terhadap normalisasi Sungai Kemuning menggunakan aplikasi GEO 5 2020, diperoleh batas elevasi kedalaman maksimal pengerukan yang diizinkan dalam mempertahankan stabilitas CCSP baik pada kondisi gempa ($SF = 1,1$) dan kondisi normal tanpa gempa ($SF = 1,5$). Batas elevasi kedalaman pengerukan untuk masing masing STA ditampilkan pada tabel 4.6

Tabel 4. 6 Batas Elevasi Maksimal Pengerukan

STA	Batas Elevasi (m)			
	Sisi Kanan		Sisi 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

Untuk memudahkan sekaligus menyamakan titik acuan dalam menentukan batas elevasi pengerukan di masing-masing STA, titik acuan pengerukan yang digunakan adalah dari elevasi muka air normal, Dari hasil perhitungan diketahui rata-rata kedalaman maksimal pengerukan pada kondisi gempa adalah 4,71 m dan 5,92 m pada kondisi normal tanpa gempa.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi stabilitas tanggul CCSP (*Corrugated Concrete Sheet Pile*) terhadap normalisasi Sungai Kemuning dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Evaluasi stabilitas tanggul CCSP terhadap normalisasi Sungai Kemuning pada STA 3+450 s/d 3+950 menunjukkan bahwasanya *safety factor* (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 STA dipengaruhi oleh tinggi muka air, serta bentuk dan kemiringan lereng.
2. Rata-rata elevasi maksimal pengerukan sungai yang diperbolehkan dalam mempertahankan stabilitas tanggul CCSP pada STA 3+450 s/d 3+950 adalah 4,71 m dibawah muka air normal pada kondisi gempa.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap studi kasus yang ada, terdapat beberapa saran yang penulis berikan yaitu :

1. Sebelum melakukan evaluasi stabilitas tanggul sebaiknya dilakukan analisa hidrologi terlebih dahulu untuk mengetahui ketinggian muka air banjir. Sehingga evaluasi stabilitas tanggul bisa lebih maksimal dengan menggunakan muka air banjir sebagai parameter perhitungan.
2. Dalam menentukan kedalaman normalisasi perlu mempertimbangkan kedalaman sungai yang berada di bagian hulu hingga ke bagian hilir sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, M.I. (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-Karangkobar Kilometer 77'. Available at: [https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/27520/12511438Muhammad Irfan Ardiansyah.pdf?sequence=1](https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/27520/12511438Muhammad%20Irfan%20Ardiansyah.pdf?sequence=1).
- Astuti, S.W. and Prativi, A. (2018) 'Kesabilan Dinding Penahan Tanah Jenis Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) Jembatan BH 1751 Lok Ulo', *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, III, pp. 40–44.
- BPS JATIM (2015) *Nama dan Panjang Sungai di Wilayah Jatim*. Available at: <https://jatim.bps.go.id/statictable/2015/01/22/12/nama-dan-panjang-sungai-.html> (Accessed: 30 June 2022).
- BSN (2008) 'SNI 4153-2008', *Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT*, 4153, pp. 1–23.
- BSN (2017) 'SNI 8460-2017', *Persyaratan Perancangan Geoteknik*, 8460, p. 2017.
- DPU SDA JATIM (2019) *Rencana Pembangunan Floodway Sungai Kemuning sebagai Solusi Banjir Kabupaten Sampang*. Available at: <http://dpuair.jatimprov.go.id/main/detail/88> (Accessed: 30 June 2022).
- Nugraha, C., Rusyda, I. and Ernawati, A. (2019) 'Perencanaan Normalisasi Sungai Babak Sebagai Antisipasi Banjir Di Kabupaten Lombok Barat', 1(1), pp. 34–42.
- PUPR (2017a) *Modul 4 Metode Pengendalian Banjir, Pelatihan Pengendalian Banjir*.
- PUPR (2017b) *Modul 6 Morfologi Sungai Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai, Kementerian Pekerjaan Umum*.
- PUPR (2017c) *Modul 8 Dasar- Dasar Perencanaan Alur dan Bangunan Sungai, Pelatihan Perencanaan Tekniks Sungai*.
- RRI (2020) *Banjir Sampang, Petani Tak Dapat Ganti Rugi*. Available at: <https://rri.co.id/daerah/947198/banjir-sampang-petani-tak-dapat-ganti-rugi>.
- Shobari, A.F. *et al.* (2019) 'Hubungan Nilai Koefisien Gempa Horizontal (Kh) Dengan Nilai Safety Factor (FS) Daerah Cilengkrang, Jawa Barat',

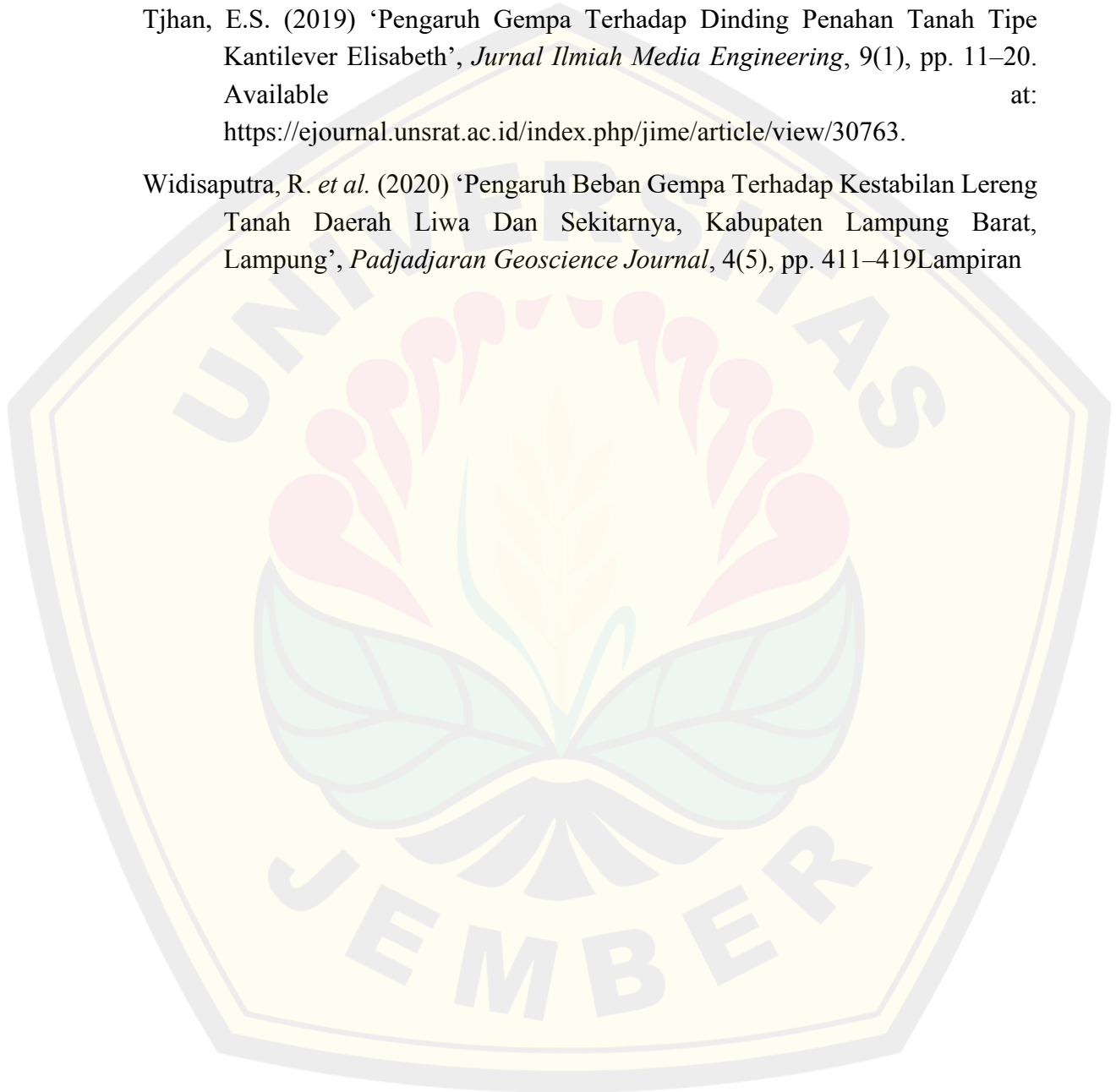
Padjadjaran Geoscience Journal, 3(4), pp. 243–253.

Soedarmo, D. (1993) *MEKANIKA TANAH, Jilid 1, Penerbit Kanisius*. Kanisius.

Sungkar, M. *et al.* (2020) ‘Slope stability analysis using Bishop and Finite Element Methods’, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 933(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/933/1/012035>.

Tjhan, E.S. (2019) ‘Pengaruh Gempa Terhadap Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever Elisabeth’, *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 9(1), pp. 11–20. Available at: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/30763>.

Widisaputra, R. *et al.* (2020) ‘Pengaruh Beban Gempa Terhadap Kestabilan Lereng Tanah Daerah Liwa Dan Sekitarnya, Kabupaten Lampung Barat, Lampung’, *Padjadjaran Geoscience Journal*, 4(5), pp. 411–419Lampiran



Lampiran 2 Permodelan Pada GEO 5 2020

NO	Gambar	Keterangan
1.		<p>Permodelan STA 3+450 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>
2.		<p>Permodelan STA 3+450 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
3.		<p>Permodelan STA 3+500 Sisi Kiri Sebelum Normalisasi</p>

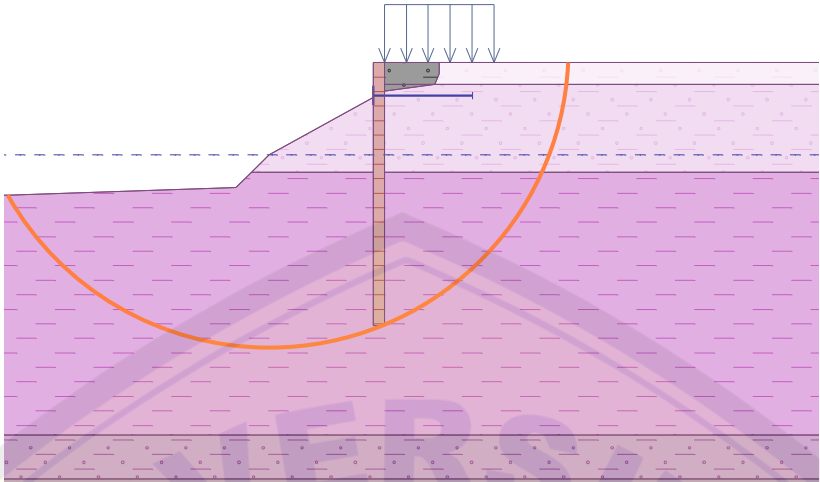
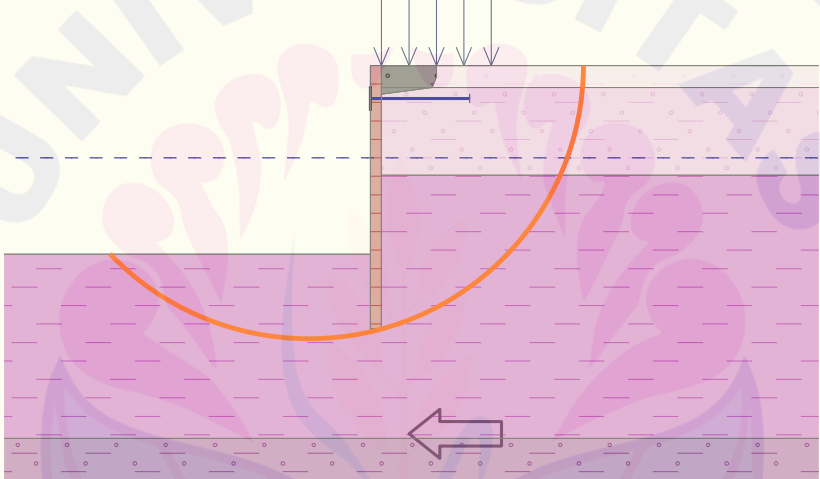
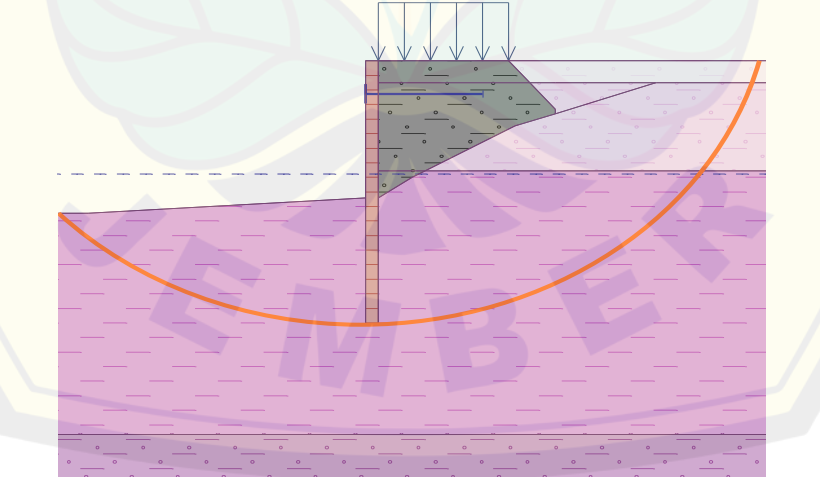
NO	Gambar	Keterangan
4.		<p>Permodelan STA 3+500 Sisi Kiri Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
5.		<p>Permodelan STA 3+500 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>
6.		<p>Permodelan STA 3+500 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>

NO	Gambar	Keterangan
7.		<p>Permodelan STA 3+550 Sisi Kiri Sebelum Normalisasi</p>
8.		<p>Permodelan STA 3+550 Sisi Kiri Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
9.		<p>Permodelan STA 3+550 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>

NO	Gambar	Keterangan
10.		<p>Permodelan STA 3+550 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
11.		<p>Permodelan STA 3+600 Sisi Kiri Sebelum Normalisasi</p>
12.		<p>Permodelan STA 3+600 Sisi Kiri Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>

NO	Gambar	Keterangan
13.		<p>Permodelan STA 3+600 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>
14.		<p>Permodelan STA 3+600 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
15.		<p>Permodelan STA 3+650 Sisi Kiri Sebelum Normalisasi</p>

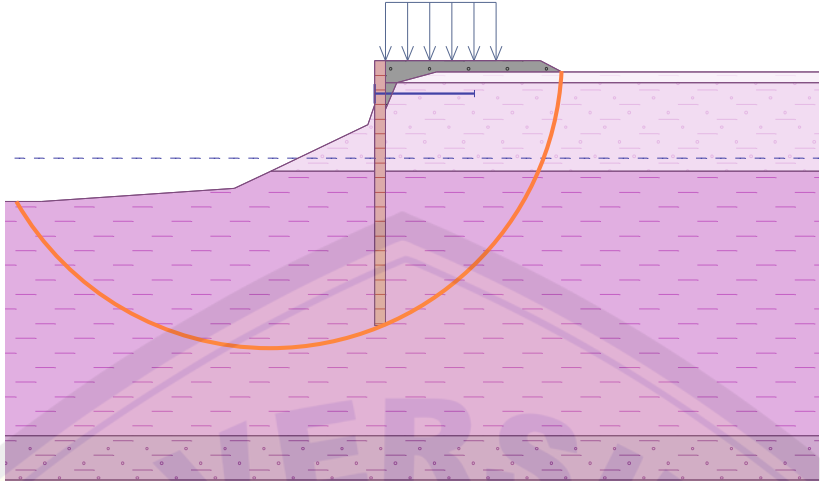
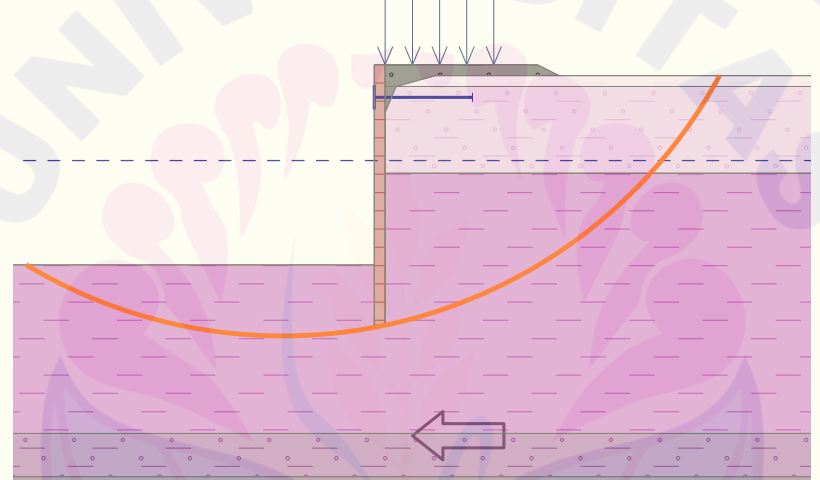
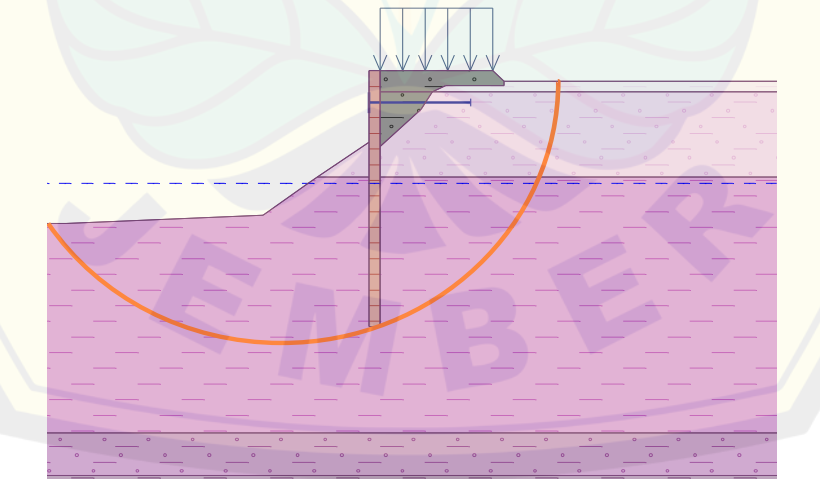
NO	Gambar	Keterangan
16.		<p>Permodelan STA 3+650 Sisi Kiri Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
17.		<p>Permodelan STA 3+650 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>
18.		<p>Permodelan STA 3+650 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>

NO	Gambar	Keterangan
19.		<p>Permodelan STA 3+700 Sisi Kiri Sebelum Normalisasi</p>
20.		<p>Permodelan STA 3+700 Sisi Kiri Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
21.		<p>Permodelan STA 3+700 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>

NO	Gambar	Keterangan
22.		<p>Permodelan STA 3+700 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
23.		<p>Permodelan STA 3+750 Sisi Kiri Sebelum Normalisasi</p>
24.		<p>Permodelan STA 3+750 Sisi Kiri Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>

NO	Gambar	Keterangan
25.		<p>Permodelan STA 3+750 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>
26.		<p>Permodelan STA 3+750 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
27.		<p>Permodelan STA 3+800 Sisi Kiri Sebelum Normalisasi</p>

NO	Gambar	Keterangan
28.		<p>Permodelan STA 3+800 Sisi Kiri Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
29.		<p>Permodelan STA 3+800 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>
30.		<p>Permodelan STA 3+800 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>

NO	Gambar	Keterangan
31.		<p>Permodelan STA 3+850 Sisi Kiri Sebelum Normalisasi</p>
32.		<p>Permodelan STA 3+850 Sisi Kiri Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
33.		<p>Permodelan STA 3+850 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>

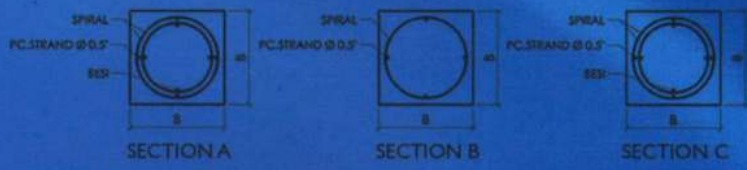
NO	Gambar	Keterangan
34.		<p>Permodelan STA 3+850 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
35.		<p>Permodelan STA 3+900 Sisi Kiri Sebelum Normalisasi</p>
36.		<p>Permodelan STA 3+900 Sisi Kiri Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>

NO	Gambar	Keterangan
37.		<p>Permodelan STA 3+900 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>
38.		<p>Permodelan STA 3+900 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
39.		<p>Permodelan STA 3+950 Sisi Kiri Sebelum Normalisasi</p>

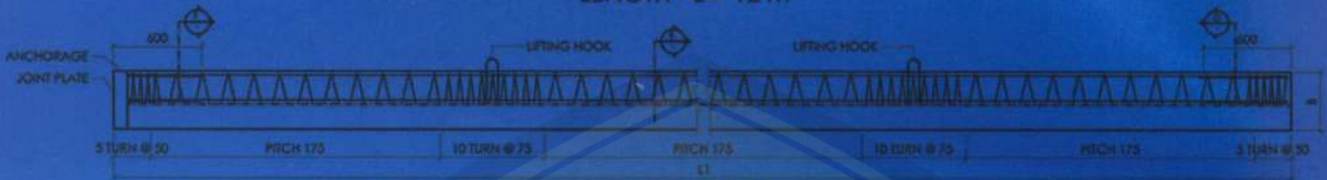
NO	Gambar	Keterangan
40.		<p>Permodelan STA 3+950 Sisi Kiri Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>
41.		<p>Permodelan STA 3+950 Sisi Kanan Sebelum Normalisasi</p>
42.		<p>Permodelan STA 3+950 Sisi Kanan Setelah Dikeruk (SF Kritis)</p>



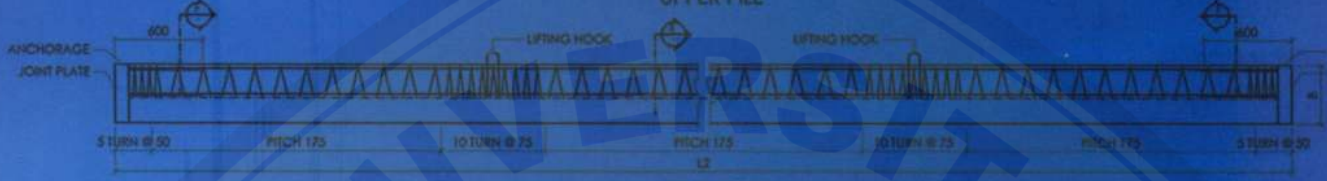
SINGLE PILE



LENGTH - L > 12 m



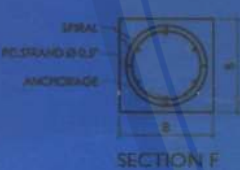
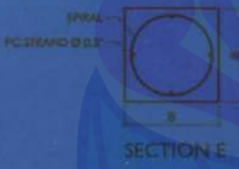
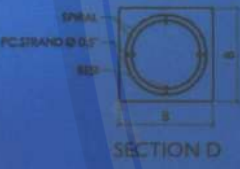
UPPER PILE



MIDDLE PILE



BOTTOM PILE



TYPICAL JOINT

B (mm)	250 x 250		300 x 300		350 x 350		400 x 400		450 x 450		500 x 500		600 x 600	
	W (kg/m)													
n (bh)	Mcr	P	Mcr	P	Mcr	P	Mcr	P	Mcr	P	Mcr	P	Mcr	P
4	3,33	49,58	4,38	78,00	5,96	145,00	7,94	206,00	10,37	264,00	-	-	-	-
5	3,87	49,58	4,97	78,00	6,65	145,00	8,73	203,00	11,26	261,00	-	-	-	-
6	4,41	49,58	5,55	78,00	7,34	145,00	9,51	200,00	12,14	258,00	15,27	323,00	23,99	472,00
7	4,94	49,58	6,14	78,00	8,02	145,00	10,29	196,00	13,02	255,00	16,25	320,00	25,28	468,00
8	5,48	49,58	6,52	78,00	8,71	142,00	11,08	193,00	13,90	251,00	17,23	316,00	26,57	465,00
9	-	-	7,32	78,00	9,39	139,00	11,86	190,00	14,78	248,00	18,21	313,00	27,87	461,00
10	-	-	7,90	78,00	10,08	136,00	12,64	187,00	15,66	245,00	19,19	310,00	29,16	458,00
11	-	-	-	-	10,76	132,00	13,43	184,00	16,54	242,00	20,17	307,00	30,45	454,00
12	-	-	-	-	11,45	129,00	14,21	181,00	17,42	239,00	21,15	304,00	31,74	451,00
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,12	301,00	33,04	447,00
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,10	297,00	34,33	444,00

Note : B - Dimention (mm) W - Unit Weight (kg/m) n - Strand Ø0.5" (bh) Mcr - Cracking Bending Moment (Lm) P - Allowable Axial Load (t)
Concrete Strength = K500



PC SHEET PILES

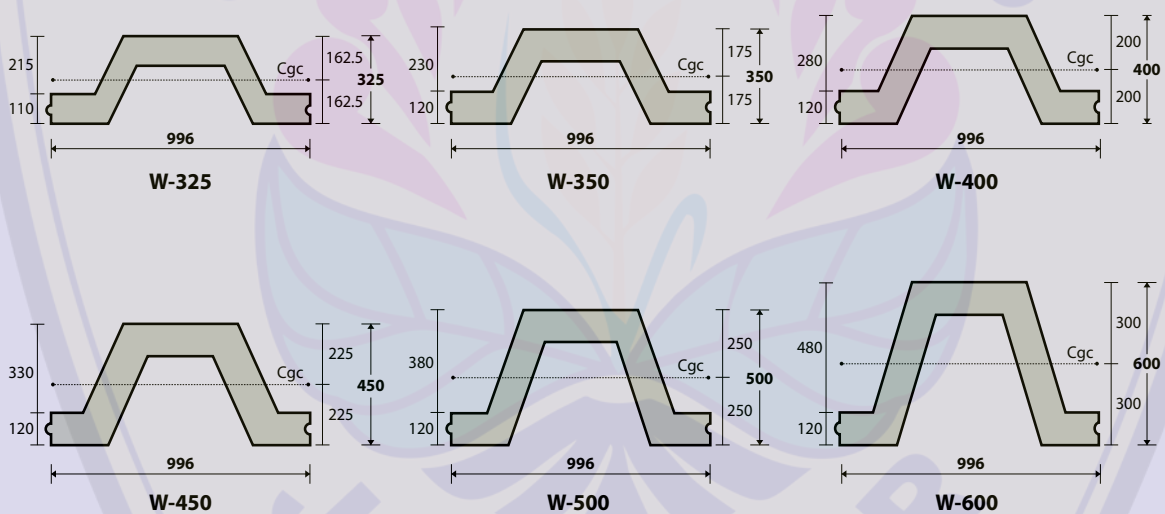
DESCRIPTION

Type of Sheet Piles	CPC Sheet Piles : Corrugated Prestressed Concrete Sheet Piles FPC Sheet Piles : Flat Prestressed Concrete Sheet Piles FRC Sheet Piles : Flat Reinforced Concrete Sheet Piles
Method of Installation	Dynamic Pile Driving : 1. Vibro Hammer (corrugated type) + Water Jet (special requirement) 2. Diesel Hammer (flat type)

DESIGN & MANUFACTURING REFERENCE

Design	JIS A 5326 - 1988 JIS A 5325 - 1981 SNI 2847 - 2013	Prestressed Concrete Sheet Piles Reinforced Concrete Sheet Piles Indonesian Standard Code for Concrete
Manufacturing	JIS A 5326 - 1988 JIS A 5325 - 1981 WB - PCP - PS - 08	Prestressed Concrete Sheet Piles Reinforced Concrete Sheet Piles Production Manufacturing Procedure

PRODUCT SHAPE & SPECIFICATION | CORRUGATED PRESTRESSED CONCRETE SHEET PILES



CPC SHEET PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 62 \text{ MPa}$ (Cube 700 kg/cm²)

Type	Width (mm)	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Moment (ton.m)		Allow. Service Moment (ton.m)		Length* (m)
						Crack	Break	Temporary	Permanent	
W-325	996	1,315	134,264	329	A	11.40	22.80	10.07	6.74	8 - 15
					B	13.30	26.60	11.97	8.64	8 - 16
W-350	996	1,468	169,432	368	A	15.60	31.20	14.04	10.14	9 - 17
					B	17.00	34.00	15.44	11.54	10 - 18
W-400	996	1,598	248,691	400	A	20.10	40.20	18.10	13.08	10 - 18
					B	23.40	46.80	21.40	16.38	11 - 20
W-450	996	1,835	353,363	459	A	26.90	53.80	24.37	18.04	11 - 20
					B	30.70	61.40	28.17	21.84	12 - 21
W-500	996	1,818	462,373	455	A	35.20	70.40	32.22	24.76	12 - 22
					B	40.40	80.80	37.42	29.16	13 - 24
W-600	996	2,078	765,907	520	A	50.60	101.20	46.48	36.19	14 - 25
					B	59.60	119.20	55.48	45.19	15 - 27

Note : * Length of Concrete Corrugated Sheet Piles may exceed usual standard whenever lifted in certain position