

# Stabilitas Tanggul dengan *Counterweight* Menggunakan *Geobox* Sebagai Penanganan Semi Permanen pada Banjir Rob Kota Semarang

Tri Wahyu Kuningsih, Mustafa, Dani Prasetyo, Herryandi Pratama, Lisa Hendri Muhartika  
*Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana*

**ABSTRAK:** Pada 23 Mei 2022 kejadian banjir rob terjadi di kawasan pesisir Kota Semarang, Jawa Tengah, khususnya daerah di sekitar Pelabuhan Tanjung Emas. Banjir rob ini menggenangi  $\pm 100$  Ha wilayah di Kelurahan Bandarharjo akibat jebolnya tanggul di dua titik pada kawasan sisi timur Pelabuhan Tanjung Mas. Salah satu upaya penanganan banjir rob adalah semi permanen dengan modifikasi tanggul dengan pemasangan *counterweight* menggunakan *geobox* yang dapat menahan hantaman gelombang dan pasang air laut di Kawasan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang. Ukuran satu *geobox* adalah lebar = 1,5 meter, tinggi 0,6-meter dan panjang 6 meter. Penelitian ini menganalisis stabilitas tanggul modifikasi dengan *geobox* menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*). Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh *safety factor* = 1.7785  $> 1,5$  yang artinya aman terhadap geser lateral dan stabilitas global. Besarnya penurunan total adalah  $10,89 \times 10^{-3}$  m atau  $1,089$  cm  $<$  penurunan izin yaitu 15 cm yang artinya struktur aman.

**Kata Kunci:** banjir rob, *geobox*, stabilitas, metode elemen hingga

**ABSTRACT:** On May 23, 2022, a tidal flood occurred in the coastal area of Semarang City, Central Java, especially the area around Tanjung Emas Port. This tidal flood inundated  $\pm 100$  hectares of area in Bandarharjo Village due to levees breaking at two points on the eastern side of Tanjung Mas Port. One of the efforts to deal with tidal flooding is semi-permanent modification of the embankment with the installation of counterweights using *geobox* that can withstand waves and tides in the Tanjung Mas Port Area, Semarang. The size of one *geobox* is 1.5 meters wide, 0.6 meters high and 6 meters long. This study analyzes the modified embankment method with *geobox* using the finite element method. Results Based on the calculation obtained safety factor =  $1.7785 > 1.5$  which means it is safe against lateral and global shear. The amount of the total decrease is  $10.89 \times 10^{-3}$  m or  $1.089$  cm  $<$  the decrease in clearance is 15 cm which means the structure is safe.

**Keywords:** tidal flood, *geobox*, stability, finite element method

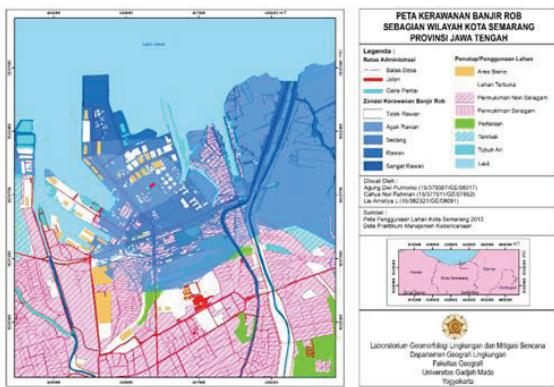
## 1 PENDAHULUAN

Kota Semarang merupakan salah satu daerah yang terletak di wilayah pesisir, secara administratif merupakan ibukota dari Provinsi Jawa Tengah. Letaknya yang strategis menyebabkan perkembangan kota menjadi sangat pesat. Tingginya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang pesat menjadi pendorong terjadinya alih fungsi lahan, dan reklamasi pantai dan pembangunan sarana industri yang cenderung menjorok ke laut. Munculnya aktivitas tersebut menyebabkan

terjadinya degradasi lingkungan di Kota Semarang, seperti banjir rob, *land subsidence* dan perubahan garis pantai. Salah satu dinamika kepesisan yang menjadi masalah serius di Kota Semarang adalah kejadian banjir rob. Peta kerawanan banjir rob di Kota Semarang bagian utara disajikan pada Gbr. 1, Kanal Kebencanaan Geografi UGM (2016).

Pada 23 Mei 2022 kejadian banjir rob terjadi di kawasan pesisir Kota Semarang, Jawa Tengah, khususnya daerah di sekitar Pelabuhan Tanjung Emas. Banjir rob ini menggenangi  $\pm 100$  Ha wilayah di Kelurahan Bandarharjo

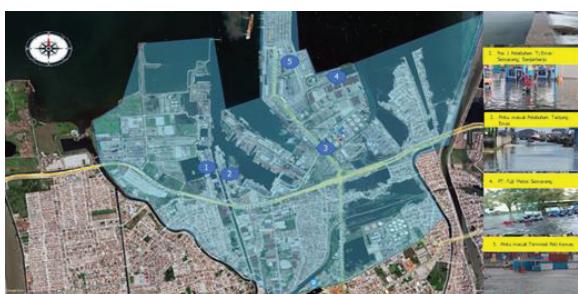
akibat jebolnya tanggul di 2 titik pada kawasan sisi timur Pelabuhan Tanjung Mas (disajikan pada Gbr. 2 dan Gbr. 3). Gelombang tinggi di Laut Pulau Jawa terutama di Pantai Utara Jawa yang mencapai 1.25 - 2.5 m juga memberikan dampak terhadap peningkatan banjir rob di wilayah tersebut.



Gbr. 1. Peta Kerawanan Banjir Rob di Semarang Bagian Utara, Kanal Kebencanaan Geografi UGM (2016).



Gbr. 2. Lokasi Titik Jebolan Parapet Akibat Pasang Air Laut pada Tanggal 23 Mei 2022.



Gbr. 3. Area Terdampak Rob Kota Semarang.

## 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Banjir Rob

Fenomena pemanasan global yang terjadi membuat salah satu dampaknya berupa

kenaikan muka air laut di bumi. Akibat lebih jauh dari kenaikan muka air laut ini salah satunya memunculkan permasalahan yang cukup besar terutama pada kota-kota yang berada di Kawasan pesisir. Kenaikan muka air laut menyebabkan beberapa kerugian, seperti terjadinya pengikisan wilayah pesisir atau abrasi dan banjir pasang air laut atau rob. Banjir rob diperkirakan akan terus mengalami peningkatan baik pada frekuensi dan besar luasan di masa mendatang, Marfai dkk. (2013).

Periode dan waktu genangan banjir rob juga sesuai dengan waktu dan periode pasang surut air laut. Biasanya banjir rob hanya terjadi beberapa jam saja. Sebaran genangan banjir rob biasanya meliputi wilayah pesisir pantai, rawa, dan dataran rendah di sekitar pantai. Luas sebaran genangan banjir rob dapat ditentukan dengan ketinggian air laut saat pasang, namun hal ini akan semakin berbahaya jika terjadi penurunan muka tanah di daerah genangan tersebut, Syafitri dan Rochani (2021).

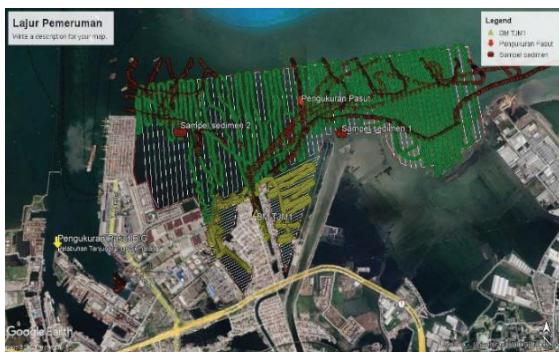
### 2.2 Pasang Surut Air Laut

Pasang surut air laut (pasut) adalah suatu fenomena alam yaitu naik turunnya permukaan air laut secara periodik sebagai akibat dari adanya gaya gravitasi benda-benda langit terutama bulan dan matahari. Pengaruh benda astronomi lainnya dapat diabaikan karena jarak dan ukurannya yang relatif lebih kecil daripada bulan dan matahari, Safi dkk. (2017).

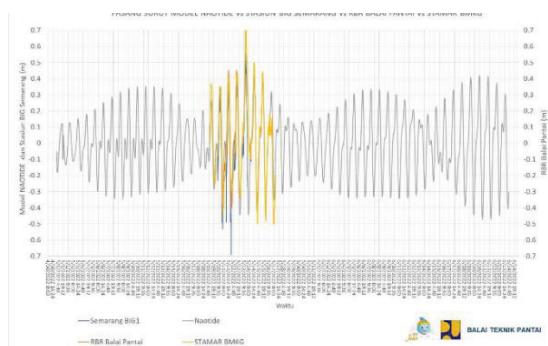
Tim penyusun advis Teknik dari Balai Teknik Pantai (2022) melakukan pengamatan pasang surut di lokasi pada koordinat  $6^{\circ}56'5.10''$   $110^{\circ}26'28.25''$  E (disajikan pada Gbr. 4) untuk memperoleh gambaran mengenai perilaku muka air akibat pasang surut selama 3 hari. Pengamatan pasang surut dilakukan menggunakan tide recorder dari tanggal 20-22 Mei 2022 dengan interval pembacaan setiap 1 menit. Hasil pengukuran pasang surut kemudian digambarkan menjadi sebuah grafik pasang surut dengan sumbu x adalah waktu pengamatan dan sumbu y adalah tinggi muka air. Data hasil pengukuran pasang surut kemudian dibandingkan dengan hasil peramalan untuk memastikan pola pasang surut hasil peramalan telah mendekati hasil pengamatan. Selain dibandingkan dengan hasil peramalan, hasil pengukuran yang dilakukan oleh Balai Teknik Pantai juga dibandingkan dengan hasil pengukuran dari stasiun Badan Informasi Geospasial (BIG) Semarang dan

STAMAR BMKG untuk melihat kesesuaian perubahan muka air (perubahan pasang surut).

Data peramalan pasang surut diperoleh melalui model Naotide selama 20 tahun. Perbandingan antara pasang surut hasil pengamatan Balai Teknik Pantai, stasiun BIG Semarang, STAMAR BMKG, dan peramalan Naotide dibandingkan dalam satu grafik seperti terlihat pada Gbr. 5. Dari Gbr. 5 pola pasang surut hasil pengamatan dengan hasil peramalan terlihat hampir sama, namun pengukuran STAMAR BMKG pada tanggal 23 Mei 2022 siang hari tercatat tinggi gelombang pasang mencapai 0,7 meter. Tinggi gelombang pasang ini lebih tinggi dari tinggi gelombang pasang yang diramalkan menggunakan model Naotide. Berdasarkan peramalan pasang surut yang telah diverifikasi oleh hasil pengukuran diperoleh nilai tunggang pasang sebesar 0,96 m.



Gbr. 4. Lokasi Pemasangan Alat Pengukur Pasang Surut, Advis Teknik Desain Tanggul Sebagai Upaya Pengendalian Banjir dan Rob di Kawasan Tambak Lorok (2022).

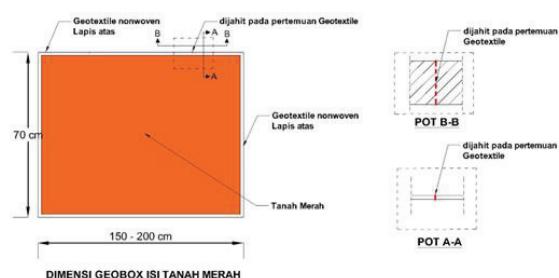


Gbr. 5. Verifikasi pasang surut pengukuran Balai Teknik Pantai, Stasiun BIG Semarang, STAMAR BMKG dengan model prediksi, Advis Teknik Desain Tanggul Sebagai Upaya Pengendalian Banjir dan Rob di Kawasan Tambak Lorok (2022).

### 2.3 Geobox

modifikasi tanggul dengan pemasangan *counterweight* (merupakan konstruksi timbunan batu atau tanah sebagai bobot pengimbang) menggunakan *geobox* yang dapat menahan hantaman gelombang dan pasang air laut di Kawasan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang. *Geobox* merupakan *geotextile* dalam bentuk *box* ukuran panjang 6 m, lebar bervariasi yaitu 1,50 m, 1,70 m dan 2 m yang diisi dengan pasir atau tanah setempat dengan volume 6 m<sup>3</sup> sampai 10 m<sup>3</sup> yang disajikan pada Gbr 6. *Geobox* digunakan sebagai metode alternatif dalam proteksi pantai, lereng sungai, ataupun saluran yang rentan terhadap erosi akibat gerusan arus sungai ataupun gelombang laut. *Geobox* juga dapat dimanfaatkan untuk membuat tanggul sementara ketika terjadi banjir di suatu daerah.

Metode pelaksanaan pekerjaan pembuatan *geobox* dimulai dari melakukan iutzet terhadap elevasi eksisting, melakukan *levelling* eksisting baik dengan tanah ataupun dengan beton. Kemudian mengukur dan pembuatan pola *geotextile*, penjahitan *geotextile*, pembuatan bekisting, pemasangan *geotextile* kedalam bekisting, pengisian tanah kemudian perataan dan pemasangan tanah di dalam *geobox* dan penjahitan *geotextile* sebagai penutup *geobox* kemudian membongkar bekisting. Penyusunan *geobox* dilakukan beberapa lapis bergantung elevasi yang diinginkan. Kelebihan *Geobox* antara lain dapat dibuat dengan dimensi/ukuran sesuai kebutuhan, praktis dan ramah lingkungan, dapat diisi dengan material setempat yaitu pasir atau tanah dan pemasangan mudah serta dapat menyesuaikan bentuk permukaan yang akan dilindungi sementara.

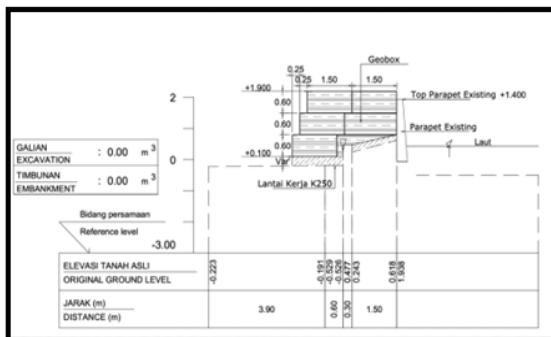


Gbr. 6. Dimensi Geobox Isi Tanah Merah.

### 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Penanganan Semi Permanen

Penanganan semi permanen banjir rob di Kawasan Pelabuhan Tanjung Mas Semarang yaitu pemasangan *counterweight* dengan menggunakan *geobox* disajikan pada Gbr. 7.



Gbr. 7. Penanganan Darurat Pemasangan Counterweight dengan Menggunakan Geobox.

### 3.2 Metode Elemen Hingga (Finite Element Method)

*Finite Element Method* (FEM) atau Metode Elemen Hingga merupakan metode numerik popular digunakan untuk mendapatkan solusi perkiraan untuk berbagai permasalahan dalam bidang *engineering*. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*), Teguh dkk. (2022). Finite element method (FEM) merupakan suatu cara untuk menyelesaikan permasalahan *engineering* dengan cara membagi obyek analisis menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisis dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah, PUSTEK E&T (2021).

Analisis stabilitas lereng tanah pada umumnya dilakukan berdasarkan pendekatan kesetimbangan batas (*limit equilibrium*), teori batas plastis, dan metode numerikal seperti metode elemen hingga. Pada metode numerik seperti elemen hingga yang dibantu dengan menggunakan program, pemodelan dapat dilakukan secara kompleks serta dapat menampilkan tahapan konstruksi. Pada umumnya, metode elemen hingga menggunakan pengurangan kuat geser, Meiprastyo dkk. (2020). Analisis pemodelan stabilitas tanggul dengan *counterweight* menggunakan *geobox* ini menggunakan metode

elemen hingga dengan program *plane strain* dan *axysimetri*. Program komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan bidang (*plane strain*) maupun secara *axysimetri*, Zordin, R. & Yakin, Y.A. (2017).

### 3.3 Pemeriksaan stabilitas dinding dan faktor keamanan minimum

Setiap dinding penahan tanah harus diperiksa stabilitasnya terhadap guling, geser lateral dan daya dukung. Faktor keamanan yang disyaratkan adalah sebagai berikut, SNI 8460 (2017):

- a. Faktor keamanan terhadap guling minimum 2;
  - b. Faktor keamanan terhadap geser lateral minimum 1,5;
  - c. Faktor keamanan terhadap daya dukung minimum 3;
  - d. Faktor keamanan terhadap stabilitas global minimum 1,5;
  - e. Faktor keamanan terhadap gempa minimum 1,1.

### 3.4 Penurunan Izin

Berdasarkan SNI 8460:2017 besarnya penurunan total dan beda penurunan yang diizinkan ditentukan berdasarkan toleransi struktur atas dan bangunan sekitar yang harus ditinjau berdasarkan masing-masing kasus tersendiri dengan mengacu pada integritas, stabilitas dan fungsi dari struktur di atasnya. Penurunan izin  $< 15 \text{ cm} + b / 600$  (b dalam satuan cm) untuk bangunan tinggi dan bisa dibuktikan struktur atas masih aman.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Tanah

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah di sekitar Kawasan Pelabuhan Tanjung Mas diketahui bahwa lapisan tanah berupa lempung terdapat sedikit pasir (tanah lunak). Data material tanah untuk input program *plane strain* dan *axysimetri* berupa berat volume tanah, permeabilitas tanah, angka pori, modulus elastisitas, angka poisson, kohesi dan sudut geser.

Tabel 1. Data Material Tanah pada Program *plane strain* dan *axysimetri*.

Parameter Tanah	Simbol	Unit	Pasir Halus (0 - 7 meter)	Tanah Asli	Lempung (7 - 40 meter)
Model Material	Model	-	Mohr_Coloumb	Mohr_Coloumb	
Material Behaviour	Type	-	Drained	Undrained	
Berat Volume Tanah Kering	$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	10,75		9,83
Berat Volume Tanah Basah	$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	17,22		16,39
Permeabilitas Arah Horizontal	$K_x$	m/day	1		0,01
Permeabilitas Arah Vertikal	$K_y$	m/day	1		0,01
Angka Pori	$e$	-	1,892		1,458
Modulus Elastisitas	$E_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	$1,25 \times 10^4$		$2 \times 10^3$
Angka Poisson	$v$	-	0,25		0,35
Kohesi	$c$	kN/m <sup>2</sup>	5		14,5
Sudut Gesek	$\phi$	°	18,16		32,31

Tabel 2. Data Material Beton dan Geobox.

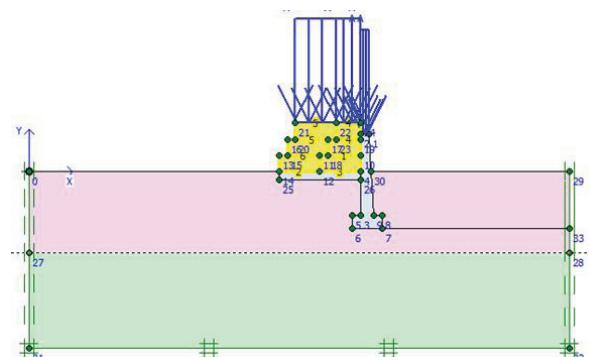
Properties	Simbol	Unit	Beton K-250	Geobox
Model Material	Model	-	Linear Elastic	Mohr-Coloumb
Material Behaviour	Type	-	Non Porous	Undrained
Berat Volume Tanah Kering	$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	24	10,60
Berat Volume Tanah Basah	$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	-	13.80
Permeabilitas Arah Horizontal	$K_x$	m/day	-	$4,07 \times 10^{-3}$
Permeabilitas Arah Vertikal	$K_y$	m/day	-	$4,07 \times 10^{-3}$
Angka Pori	$e$	-	-	1,13
Modulus Elastisitas	$E_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	$2,141 \times 10^7$	$1,25 \times 10^4$
Angka Poisson	$v$	-	0,15	0,30
Kohesi	$c$	kN/m <sup>2</sup>	-	10
Sudut Gesek	$\phi$	°	-	20

Tabel 3. Data Material Geotextile.

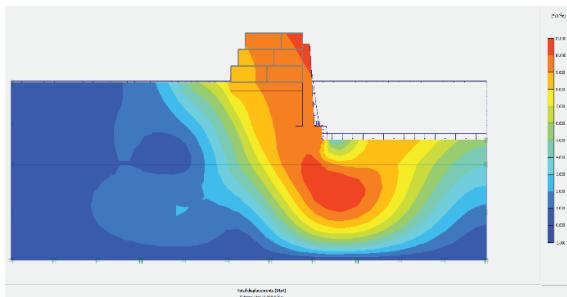
EA (kN/m)	EI (kNm <sup>2</sup> /m)	w (kN/m/m)	v
6	-	-	-

#### 4.2 Analisis Stabilitas

Pemodelan tanggul dengan *counterweight* menggunakan *geobox* dalam program disajikan pada Gbr. 8. Hasil analisis didapatkan besarnya *total displacements* adalah  $10,89 \times 10^{-3}$  m atau 1,089 cm < penurunan izin yaitu 15 cm yang artinya struktur aman (disajikan pada Gbr. 9). Faktor keamanan atau *safety factor* = 1,7785 yang artinya lebih besar dari standar kriteria minimum angka aman yaitu 1,5 yang artinya aman terhadap geser lateral dan stabilitas global berdasarkan SNI 8460:2017 (disajikan pada Gbr. 10).



Gbr. 8. Pemodelan Tanggul dengan *Counterweight* Menggunakan *Geobox* dalam Program.



Gbr. 9. Hasil Pemodelan Tanggul dengan Counterweight Menggunakan Geobox.

Calculation information		
Multipilers   Additional Info   Step Info		
Step Info	Step	Extrapolation factor
Step	258 of 258	2,000
Plastic STEP		Relative stiffness
Multipilers	Incremental multipliers	Total multipliers
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000
Load system A	MloadA:	0,000
Load system B	MloadB:	0,000
Soil weight	Mweight:	0,000
Acceleration	Maccel:	0,000
Strength reduction factor	Msf:	0,000
Time	Increment:	0,000
Dynamic time	Increment:	0,000
		1,778
		End time:
		0,000
		End time:
		0,000

Gbr. 10. Calculation Info untuk Faktor Aman Stabilitas.

## 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh *safety factor* = 1,7785 > 1,5 yang artinya aman terhadap geser lateral dan stabilitas global berdasarkan SNI 8460:2017. Besarnya penurunan total adalah  $10,89 \times 10^{-3}$  m atau 1,089 cm < penurunan izin yaitu 15 cm yang artinya struktur aman.

### 5.2 Saran

Perlu dilakukan analisis stabilitas tanggul eksisting untuk mengetahui faktor keamanan tanggul sebelum tanggul mengalami jebol.

Untuk mengurangi risiko bencana banjir rob di Kawasan Pelabuhan Tanjung Mas perlu penanganan permanen dengan struktur perkuatan tanggul berupa dinding *counterfort* dengan fondasi *bore pile*.

## PENGHARGAAN

Kami sebagai penulis makalah ini mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini dan khususnya kepada Kepala Balai Besar Wilayah Pemali Juana, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

## DAFTAR PUSTAKA - REFERENCES

- Kanal Kebencanaan Geografi UGM. 2016. *Pemodelan Kerawanan Banjir Rob Menggunakan ILWIS*. Diakses pada tanggal 08 September 2022 <https://disaster.geo.ugm.ac.id/index.php/berita/kerawan-banjir-rob>.
- Marfai, M.A., Mardianto, D., Chayadi, A., Nucifera, F., dan Prihatno, H., 2013. Pemodelan Spasial Bahaya Banjir Rob Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim dan Dampaknya Di Pesisir Pekalongan. *Jurnal Bumi Lestari* Volume 13(2): 244-256.
- Syafitri, A.W., Rochani, A., 2021. Analisis Penyebab Banjir Rob di Kawasan Pesisir Studi Kasus: Jakarta Utara, Semarang Timur, Kabupaten Brebes, Pekalongan. *Jurnal Kajian Ruang* Volume 1(1): 16-28.
- Safi, A.F., Pratomo, D.G., dan Cahyadi, M.N., 2017. Pengamatan Pasang Surut Air Laut Sesaat Menggunakan GPS Metode Kinematik. *Jurnal Teknik ITS* Volume 6(2): G180-G185.
- Tim Penyusun Advis Teknik Balai Teknik Pantai. 2022. *Advis Teknik Desain Tanggul Sebagai Upaya Pengendalian Banjir dan Rob Di Kawasan Tambak Lorok, Semarang, Balai Teknik Pantai*. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Indonesia.
- Teguh, R., Rusbandi, Sudiadi, Novita, D., & Mardiani. 2022. Penerapan Aplikasi Plaxis Pada Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tidinanti Palembang. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Fordicate (Informatics Engineering Dedication)* 1(2): 124-132.
- PUSTEK E&T. 2021. *Finite Element Analysis*. Diakses pada tanggal 10 September 2022 <https://pustek.com/v2/services/finite-elementanalysis/>
- Meiprastyo, X., Rono IS Rono Hadinagoro, Andhika Mahdi Arifi, & Rizal Zulfikar. 2020. Analisis Kestabilan Lereng dan Penanganan Longsor Area Puncak Pass Cianjur STA 20+650, Jawa Barat Menggunakan Program Plaxis. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik* 19(2): 90-99. <https://doi.org/10.26874/jt.vol19no02.152>.
- Zordin, R., & Yakin, Y.A. 2017. Analisis Keruntuhan Dinding Penahan Tanah Studi Kasus Condotel di Parongpong Bandung. *Reka Racana Jurnal Online Institut Teknologi Nasional* 3(4):82-91.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. SNI 8460:2017.