

KAJIAN STABILITAS TITIK P21 LERENG TANGGUL PENAHAN LUMPUR SIDOARJO

Budijanto Widjaja dan Virda Alfionida

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
Jln Ciembuleuit 94 Bandung
e-mail: geotek.gw@gmail.com; virda.alfionida@yahoo.com

Abstrak: Munculnya semburan lumpur panas di Porong Sidoarjo, Jawa Timur sejak tahun 2006, telah mengakibatkan tergenangnya kawasan pemukiman dan pertanian serta memiliki potensi bahwa lumpur tersebut masih tetap menyembur beberapa tahun ke depan. Sejumlah upaya telah dilakukan diantaranya dengan membuat tanggul panahan lumpur. Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan dilihat dari struktur luar tanggul, tanggul masih dalam keadaan yang cukup baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor keamanan terhadap stabilitas lereng pada tanggul Lumpur Sidoarjo terutama pada titik P21. Faktor keamanan yang dianalisis menggunakan program komputer Plaxis. Simulasi dilakukan secara bertahap sesuai dengan urutan konstruksi timbunan yang telah direncanakan hingga saat setelah konstruksi selesai dilaksanakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa faktor keamanan berubah terhadap waktu dan memiliki nilai kritis pada saat konstruksi timbunan selesai dilakukan yaitu sebesar 0.99. Kemudian, faktor keamanan meningkat setelah proses konsolidasi pada tahun ke-8 yaitu 1.59. Secara umum, berdasarkan hasil simulasi ini dan asumsi yang ada, tanggul P21 berada dalam kondisi aman terhadap longsoran.

Kata kunci: lumpur Sidoarjo, stabilitas lereng, faktor keamanan

Abstract: Appearance of mud eruption in Porong Sidoarjo, East Java since 2006 has caused the buried area for residences and farming; and has a tendency to erupt for few years ahead. Several efforts have been conducted, for example, construction of embankment. Based on the visual observation, the embankment is in relatively good condition. The purpose of this research is to get the safety factor for slope stability at Sidoarjo Mud, especially at a point P21. The safety factor is calculated using Plaxis. Simulation was modeled as stage construction from the beginning until the end of embankment construction. The result shows that safety factor is changed with time. It has a critical value at the time of the end of embankment construction as low as 0.99. Then, the safety factor is increased after consolidation at year 8 as 1.59. In general, based on this simulation and assumption, embankment at the point P21 is adequate to resist the landslide.

Keywords: mud Sidoarjo, slope stability, safety factor

PENDAHULUAN

Lumpur Sidoarjo adalah peristiwa menyemburnya lumpur panas yang berada di Dusun Balongnongo Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia. Semburan lumpur panas ini menyebabkan tergenangnya kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian di tiga kecamatan di sekitarnya, serta mempengaruhi aktivitas perekonomian di Jawa

Timur. Hingga saat ini semburan ini masih berlangsung. Untuk mencegah lumpur mengalir ke daerah sekitarnya, tanggul-tanggul dibangun disekitar daerah letusan.

Dengan berjalannya waktu dan begitu juga volume lumpur meningkat dari hari ke hari maka masalah yang dihadapi di Sidoarjo berkaitan erat dengan stabilitas tanggul. Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng menjadi

disimulasikan ke dalam program Plaxis ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukan, perhitungan, keluaran, dan kurva. Untuk mendapatkan hasil analisis yang baik, maka harus mempertimbangkan hal-hal berikut:

1. Pemodelan perilaku material.
2. Penentuan parameter
3. Jaring (mesh) elemen hingga
4. Urutan konstruksi.

PERMASALAHAN

Lokasi semburan lumpur ini terjadi pada tanggal 29 Mei 2006 dan berada di Porong, yakni di Kecamatan bagian selatan Kabupaten Sidoarjo, sekitar 12 km sebelah selatan kota Sidoarjo. Sejak saat itu, peristiwa tersebut diberi nama Lumpur Sidoarjo. Makalah ini dimaksudkan untuk meninjau stabilitas tanggul pada titik P21.

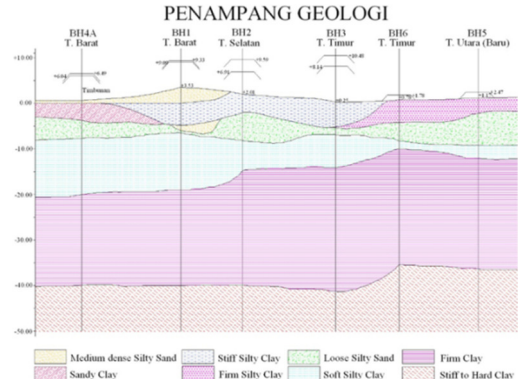


Gambar 2. Peta lokasi titik tanggul P21 Lumpur Sidoarjo (Google Earth, 2016)

HASIL DAN ANALISIS

Kondisi Geologi

Tanggul Lumpur Sidoarjo tersebut berada pada daerah yang terdiri dari berbagai jenis tanah lempung dan pasir. Penampang geologi lokasi ini dapat dilihat pada Gambar 3. Pada penampang geologi ini terdapat lapisan lempung dan pasir yang silih berganti yang berdampak pada analisis penurunan tanah.



Gambar 3. Penampang geologi sepanjang tanggul (BPLS, 2016)

Tanggul berdiri di atas lapisan pasir. Di bawah lapisan pasir ini terdapat lapisan lempung yang kemudian diikuti oleh lapisan pasir dan lempung.

Lokasi Tanggul Lumpur Sidoarjo Titik P21

Tanggul Lumpur Sidoarjo titik P21 berada di Kelurahan Jatirejo yang berada di sisi Barat tanggul Lumpur Sidoarjo.



Gambar 4. Potongan melintang titik P21 (BPLS, 2016)

Tepat di bagian depan tanggul titik P21 tersebut, merupakan jalan arteri Porong. Tanggul Lumpur Sidoarjo titik P21 ini dapat dilihat pada Gambar 4.

Data Penentuan Parameter Tanah

Untuk data berat isi tanah di dapat dari Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) pada tahun 2007, data lain yang tidak tersedia menggunakan data korelasi empirik seperti angka Poisson (Bowles, 1997), modulus elastisitas tanah (Duncan dan Buchignani, tanah yang digunakan untuk desain konstruksi tanggul. Pemodelan yang dilakukan pada analisis ini dengan menggunakan metode elemen hingga. Analisis yang ditinjau meliputi kondisi jangka pendek, jangka panjang dan konsolidasi.

Hasil Simulasi

Untuk menganalisis stabilitas lereng tanggul P21 ini, dibuat skenario berupa urutan tahap konstruksi sebagai berikut:

Tahap 1 : Kondisi awal

Tahap 2 : Timbunan ke-1

Tahap 3 : Timbunan ke-1 dan lumpur

Tahap 4 : Timbunan ke-2 dan lumpur

Tahap 5 : Timbunan ke-3 dan lumpur

Tahap 1 : Kondisi awal

Pemodelan lapisan tanah dilakukan sampai pada kedalaman 30.67 m. Sedangkan untuk tanah timbunan ketinggiannya adalah 5.8 m dari muka tanah dasar. Posisi pemodelan tanah dan lokasi muka air tanah dapat dilihat pada Gambar 5.

1976), angka permeabilitas tanah (Coduto, 2001), dan kohesi (Begemann, 1965).

Stratifikasi Tanah dan Parameter Tanah

Gambar 8 menunjukkan hasil akhir dari stratifikasi tanah pada tanggul Lumpur Sidoarjo yang terdapat pada titik P21 serta parameter Tahap 2 : Timbunan ke-1

Pada tahap ini, dilakukan timbunan ke-1 setinggi 1.5 m. Pada tahap ini belum ada lumpur dan tinggi beronjong sama dengan tinggi timbunan yaitu 1.5 m (Gambar 6).

Tahap 3 : Timbunan ke-1 dan lumpur

Pada tahap 3, tinggi timbunan masih tetap sama seperti tahap ke-2 yaitu 1.5 m, tapi pada tahap ini lumpur mulai muncul di sisi timur setinggi 1 m (Gambar 7).

Tahap 4 : Timbunan ke-2 dan lumpur

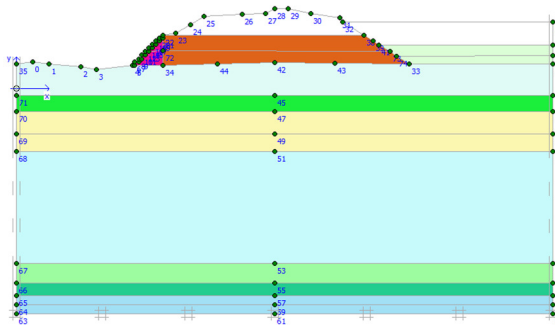
Pada tahap ini, tinggi timbunan mengalami penambahan setinggi 2.1 m dan ketinggian lumpur bertambah 1.5 m, tinggi beronjong sama dengan tinggi timbunan ke-2 (Gambar 9).

Tahap 5 : Timbunan ke-3 dan lumpur

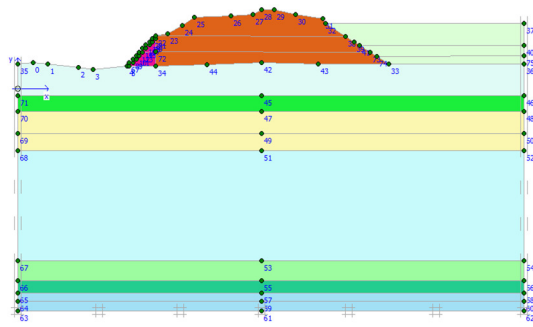
Pada tahap 5, tinggi timbunan mengalami penambahan lagi setinggi 3.6 m dan ketinggian lumpur juga semakin tinggi yaitu bertambah 3.1 m (Gambar 10).

Tabel 1. Parameter tanah

Jenis tanah	Tebal (m)	N _{SPT}	Konsistensi tanah	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ	v'	E' (kN/m ²)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)
Silty Sand	5.8	>50	Very Dense	16	17	-	49	0.33	38000	-	49
Clay	4.5	21	Very Stiff	16	17	100	0	0.33	8400	1	23
Silt	2.2	7	Medium Stiff	16	17	30	0	0.33	2800	1	24
Sand	5.4	25	Medium Dense	16	17	-	25	0.33	19000	-	25
Soft Clay	15.2	1	Very Soft	17.3	18.3	9.1	0	0.33	3640	19.3	18
Silt	2.7	27	Very Stiff	16.3	17.3	110	0	0.33	44000	19.3	18
Clay	1.7	>50	Hard	16.3	17.3	150	0	0.33	60000	19.3	18
Sand	2.5	>50	Very Dense	16.3	17.3	-	49	0.33	38000	-	49
Beronjong				22	22	0	42	0.33	35000	-	42
Lumpur	5.3			21	22	1	0	0.33	400	1	1



Gambar 9. Tahap 4: timbunan ke-2 dan lumpur



Gambar 10. Tahap 5: timbunan ke-2 dan lumpur

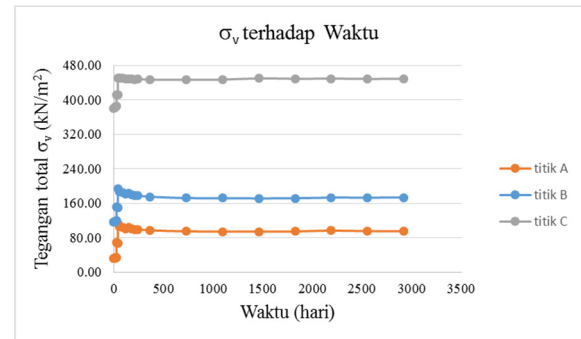
Hasil Analisis pada Pemodelan Menggunakan Plaxis

Hasil analisis dari metode konstruksi yang dikaji berupa tegangan efektif, tekanan air pori ekses, tegangan total, konsolidasi dan faktor keamanan terhadap stabilitas lereng. Hasil analisis tersebut diperhitungkan pada saat proses konstruksi dan setelah proses konstruksi. Titik pengamatan berada di titik A, B, dan C seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

Tegangan Total

Pada saat dilakukan timbunan ke-1, nilai tegangan total yang didapat mengikuti urutan penimbunan tanggul. Setelah penimbunan tanggul ini selesai, tegangan total konstan, dan dilanjutkan dengan proses konsolidasi untuk waktu 14 hari. Lalu setelah dilakukan timbunan ke-2, nilai tegangan total semakin besar dan akhirnya konstan dan dilanjutkan proses konsolidasi. Penimbunan akhir adalah pada timbunan ke-3 sehingga tegangan total terbesar terjadi pada kondisi ini. Setelah beban selesai dikonstruksi, maka kurva tersebut berada pada

nilai yang konstan seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

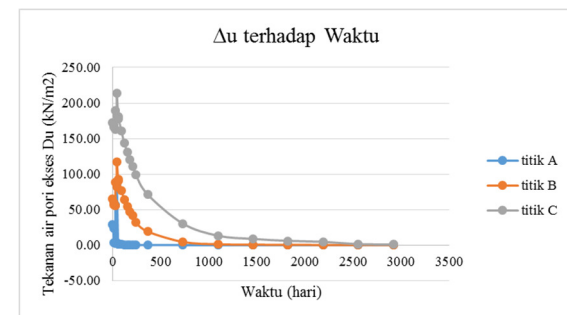


Gambar 11. Tegangan total pada titik pengamatan A, B, dan C (Lokasi titik terdapat di Gambar 5)

Tekanan Air Pori Ekses

Seperti ditunjukkan pada Gambar 5, titik A terletak di lapisan lempung yang dekat dengan lapisan pasir. Adanya lapisan pasir di bawah timbunan dapat mempercepat waktu konsolidasi. Sebaliknya, titik B berada pada lapisan pasir yang dekat dengan lapisan *silt*. Sedangkan titik C, berada di tengah-tengah lapisan *soft clay*. Lokasi titik ini mempengaruhi besarnya tegangan air pori ekses.

Pada tahap awal dilakukan penimbunan, nilai tekanan air pori ekses (Δu) yang didapat cukup tinggi pada masing-masing titik (Gambar 12).



Gambar 12. Hubungan tekanan air pori ekses terhadap waktu

Misalnya, pada titik C, Δu dapat mencapai nilai 172.31 kN/m² pada awal penimbunan. Setelah dilakukan konsolidasi selama 14 hari nilai Δu mengalami penurunan menjadi 169.45 kN/m². Lalu pada saat lumpur mulai tergenang, Δu kembali naik. Nilai Δu maksimum terjadi pada saat penimbunan ke-3. Di titik A, pada saat

timbunan ke-3 dan dilakukan proses konsolidasi selama 56 hari, nilai tersebut mengalami penurunan yang cukup besar yaitu dari 83.19 kN/m² menjadi 1.66 kN/m².

Hal ini menunjukkan bahwa pada saat dilakukan timbunan ke-3, beban yang dipikul bertambah besar sehingga Δu terdisipasi. Selain itu, karena adanya lapisan *permeable* menyebabkan disipasi tegangan air pori eksese relatif cepat selesai. Jika diperhatikan, Δu terhadap waktu setelah penimbunan ke-3 ini selesai dikonstruksi, disipasi Δu terjadi dan konsolidasi pun dapat dianggap selesai.

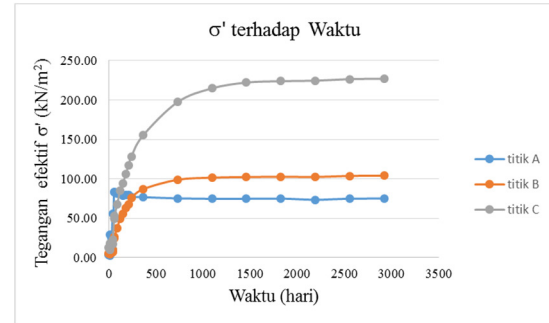
Karakteristik titik A dan B relatif memberikan hasil yang hampir mirip karena titik B berada di lapisan pasir yang dekat dengan *silt* sehingga pengaruh lapisan di atasnya sedikit banyak memberikan pengaruh terhadap peningkatan tegangan air pori eksese akibat proses pembebanan yang terjadi.

Berbeda dengan titik C, karena terletak pada lapisan *soft clay*, disipasi air pori cenderung terjadi lebih lama dibandingkan dengan titik A dan titik B (Gambar 5). Namun demikian, karena zona tegangan pembebanan relatif cukup besar dan memberikan pengaruh terhadap peningkatan tegangan air pori eksese pada lapisan *soft clay* sehingga Δu lapisan *soft clay* menjadi lebih tinggi dibandingkan titik-titik lain.

Tegangan Efektif

Kurva tegangan efektif (σ') mengalami kenaikan secara bertahap seiring dengan menurunnya Δu akibat proses penimbunan (Gambar 13). Ketika Δu mencapai nilai terendahnya, yaitu pada waktu hari ke-2920, mengakibatkan σ' membesar seiring dengan peningkatan waktu dan memiliki nilai tertinggi pada akhir konsolidasi.

Jika diperhatikan, tegangan vertikal efektif pada titik C adalah yang paling besar. Semakin dalam suatu titik semakin besar tegangan efektifnya.



Gambar 13. Perubahan tegangan efektif terhadap waktu

Faktor Keamanan

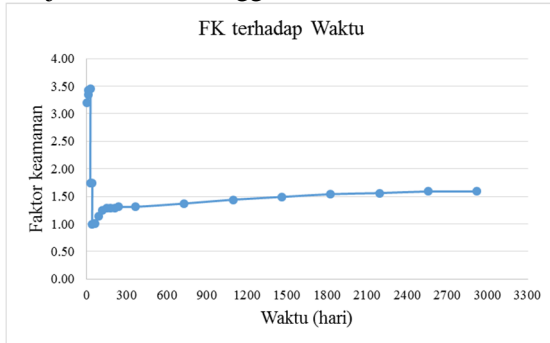
Gambar 14 menunjukkan perubahan nilai faktor keamanan (FK) sesuai dengan urutan konstruksi.

Tabel 2. Faktor keamanan terhadap waktu

No	Urutan Konstruksi	Hari ke-	FK
1	Timbunan 1	0	3.20
2	Konsolidasi 1	14	3.35
3	Timbunan 1 dan Lumpur	14	3.43
4	Konsolidasi 1 dan Lumpur	28	3.46
5	Timbunan 2 dan Lumpur	28	1.75
6	Konsolidasi 2 dan Lumpur	42	1.74
7	Timbunan 3 dan Lumpur	42	0.99
8	Konsolidasi 3 dan Lumpur	56	1.01
9	Konsolidasi 3 dan Lumpur	60	1.01
10	Konsolidasi 3 dan Lumpur	90	1.14
11	Konsolidasi 3 dan Lumpur	120	1.24
12	Konsolidasi 3 dan Lumpur	150	1.28
13	Konsolidasi 3 dan Lumpur	180	1.29
14	Konsolidasi 3 dan Lumpur	210	1.29
15	Konsolidasi 3 dan Lumpur	240	1.31
16	Konsolidasi 3 dan Lumpur	365	1.31
17	Konsolidasi 3 dan Lumpur	730	1.37
18	Konsolidasi 3 dan Lumpur	1095	1.44
19	Konsolidasi 3 dan Lumpur	1460	1.49
20	Konsolidasi 3 dan Lumpur	1825	1.54
21	Konsolidasi 3 dan Lumpur	2190	1.56
22	Konsolidasi 3 dan Lumpur	2555	1.59
23	Konsolidasi 3 dan Lumpur	2920	1.59
24	Long Term		1.78

FK kritis adalah sebesar 0.99 yaitu pada saat timbunan selesai dikonstruksi. Adapun kriteria FK minimum untuk stabilitas lereng yang aman adalah sebesar 1.3 sesuai dengan rekomendasi

dari Duncan dan Wright (2005). Jika diselidiki lebih lanjut, FK mulai timbunan ke-1 hingga 3 mengalami penurunan saat dilakukan penimbunan. Hal ini terjadi karena gaya geser menjadi semakin tinggi akibat timbunan.



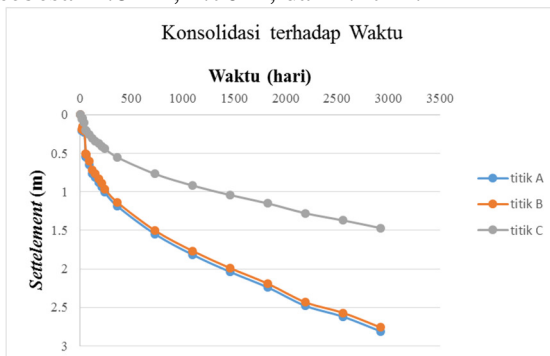
Gambar 14. Variasi faktor keamanan terhadap waktu

Nilai FK terhadap waktu setelah penimbunan ke-3 kembali meningkat mencapai nilai yang konstan setelah konstruksi selesai atau pada saat tidak ada lagi penimbunan.

Hubungan FK terhadap waktu pada Gambar 14 menunjukkan bahwa lereng kurang stabil pada saat konstruksi. Namun demikian, stabilitas jangka panjang (*long term*) menunjukkan kecenderungan aman dengan FK sebesar 1.78.

Penurunan Konsolidasi

Seperti ditunjukkan pada Gambar 15, kurva konsolidasi tersebut terus mengalami penurunan ketika beban timbunan diberikan pada saat timbunan ke-1, timbunan ke-2, dan timbunan ke-3 sehingga tekanan air pori eksese terus terdisipasi. Titik A, B, dan C masing-masing mengalami penurunan konsolidasi maksimum sebesar 2.81 m, 2.76 m, dan 1.47 m.



Gambar 15. Kurva penurunan konsolidasi terhadap waktu

KESIMPULAN

Sesuai dengan urutan konstruksi, tegangan total mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan beban timbunan yang dilakukan secara bertahap, dan akhirnya bernilai konstan akibat timbunan yang telah selesai dilaksanakan.

Kurva tekanan air pori eksese (Δu) mengalami perubahan dari waktu ke waktu hingga air terdisipasi seiring dengan urutan konstruksi yang dilakukan. Akibat penimbunan, kenaikan tegangan air pori eksese di titik A, B, dan C bernilai maksimum. Kenaikan maksimum pada titik A, titik B, dan titik C masing-masing sebesar sebesar 83.19 kN/m², 116.71 kN/m², dan 214.31 kN/m². Setelah beban timbunan selesai dikonstruksi, tekanan air pori eksese ini terdisipasi.

Besar nilai tegangan efektif (σ_v') menunjukkan semakin kecil nilai tekanan air pori eksese (Δu), maka akan semakin besar tegangan efektif (σ_v') yang terjadi sampai mencapai nilai konstan.

Faktor keamanan terkecil tanggul tersebut terjadi pada saat akhir penimbunan tertinggi dengan stabilitas kurang aman, lalu faktor keamanan kembali meningkat seiring dengan proses konsolidasi pada hari ke-2920 yaitu 1.59.

Nilai penurunan konsolidasi maksimum yang dicapai adalah 2.81 m di titik A, 2.76 m di titik B, dan 1.47 m di titik C seiring dengan terdisipasinya tekanan air pori eksese.

SARAN

Untuk memantau pergerakan tanah yang terjadi di bawah permukaan diperlukan alat inclinometer sehingga dapat diketahui besarnya pergerakan dan arah pergerakan yang terjadi.

Diperlukan data parameter tanah yang lebih lengkap, karena jika data parameter tanah yang ada sangat terbatas, dibutuhkan kemampuan untuk menginterpretasikan data parameter tanah untuk hasil desain yang baik.

Stabilitas terhadap tanggul diberi perkuatan untuk menghindari jebolnya tanggul yang disebabkan oleh volume lumpur yang tidak bisa diprediksi peningkatannya. Perkuatan tanggul ini menggunakan pasangan batu kali dengan kemiringan yang tidak terlalu curam.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustawijaya, D.S and Sukandi (2012). "The Stability Analysis of the Lusi Mud Volcano Embankment Dams using FEM with a Special Reference to the Dam Point P10.D". Civil Engineering Dimension Vol. 14. 2, pp. 100-109
- Begemann. (1965). "The maximum pulling force on a single tension pile calculated on the basis of results of the adhesion jacket cone". In: Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal 2, pp. 229
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design*. McGraw-Hill, Washington D.C.
- BPLS. (2016). "Peta tanggul lumpur Sidoarjo". BPLS, Sidoarjo.
- BPLS. (2007). "Investigasi geoteknik tanggul pengaman lumpur". BPLS, Sidoarjo.
- BPLS. (2007). "Data geologi teknik tanggul pengaman lumpur", BPLS, Sidoarjo.
- Coduto, Ronald.P. (2001). *Foundation design principles and practices*. Upper Saddle River, New Jersey.
- Duncan J.M and Buchignani A.L. (1976). *An engineering manual for settlement studies*. John Wiley and Sons, New Jersey.
- Duncan, J.M and Wright, S.G. (2005). *Soil strength and slope stability*. John Wiley and Sons, New Jersey.