Analisa Perbaikan Tanah pada Jalan Tol Sumatera Utara Bagian Selatan dengan Metode *Preloading*

Muhammad Afief Ma'ruf^{1 2} Dhandy Pratama¹
Muhammad Andra Pranatha¹ Muflihah Sophia
Rafi'atunnisa¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

² Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Lambung Mangkurat

✉ afief.maruf@ulm.ac.id

Paper ini fokus merencanakan perbaikan tanah jalan tol Sumatera Utara bagian Selatan dimana jalan dibangun atas tanah yang sangat lunak dan lapisan pasir lepas sehingga diperlukan perkuatan. Metode yang dipilih pada perencanaan ini adalah metode *preloading*. Ada beberapa langkah yang harus dilakukan, yaitu memperhitungkan tinggi timbunan yang diperlukan dan tinggi timbunan final yang dikehendaki, membuat metode pelaksanaan pekerjaan untuk dapat mencapai elevasi final, dan melakukan analisis geoteknik untuk menghitung nilai angka keamanan. Dari hasil analisa didapatkan besar timbunan tanah yang diperlukan tanpa penambahan beban *preloading* adalah sebesar 3,825 m, sedangkan bila diberi tambahan berupa beban *preloading* tinggi timbunan menjadi 5,825 m. Nilai faktor keamanan rencana yang digunakan adalah 1,2 dengan tinggi kritis timbunan (H_{safe}) adalah 3,57 m. Pemasangan geotekstil woven digunakan untuk memperkuat lereng. Berdasarkan analisa rancangan anggaran biaya untuk proyek perbaikan tanah pada jalan tol tersebut didapatkan total biaya sekitar Rp143.024.588.000,- (Seratus Empat Puluh Tiga Milyar Dua Puluh Empat Juta Lima Ratus Delapan Puluh Delapan Ribu Rupiah)

Kata kunci: jalan tol, perbaikan tanah, *preloading*, tinggi kritis

Diajukan: 31 Mei 2020

Direvisi: 5 Juni 2020

Diterima: 15 Juni 2020

Dipublikasikan online: 17 Juni 2020

Pendahuluan

Pulau Sumatera merupakan salah satu pulau terbesar di Indonesia yang mengalami peningkatan perekonomian setiap tahunnya. Pertumbuhan ekonomi di Pulau Sumatera memberikan kontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional sebesar 21,36 persen pada triwulan I-2019 (Sumber: Badan Pusat Statistik, 2019). Hal ini menyebabkan kontribusi Pulau Sumatera sangat besar dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional. Oleh karena itu untuk mempercepat pertumbuhan ekonomi tersebut, Pulau Sumatera memerlukan sarana pendukung berupa sarana transportasi yaitu moda transportasi darat berupa jalan tol.

Di Indonesia banyak tersebar wilayah-wilayah yang memiliki tanah lunak, seperti di wilayah Sumatera. Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari sebagian besar butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat tanah lunak adalah gaya gesernya kecil, kemampatannya besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung rendah jika dibandingkan dengan tanah lempung lainnya. Tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kuat geser rendah
2. Bisa kadar air bertambah, kuat gesernya berkurang
3. Bila struktur tanah terganggu, kuat gesernya berkurang
4. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat
5. Menyusut bila kering danembang bila basah
6. Memiliki kompresibilitas yang besar
7. Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada beban yang konstan
8. Merupakan material kedap air

Menurut Terzaghi tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lunak apabila mempunyai daya dukung lebih kecil dari 0,5 kg/cm² dan nilai *standard penetration test* lebih kecil dari 4 ($N-SPT \leq 4$). Berdasarkan uji lapangan, tanah lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Menurut Toha (1989), sifat umum tanah lunak adalah memiliki kadar air 80-100%, batas cair 80-110%, batas plastis 30-45%, saat dites *sieve analysis*, maka butiran yang lolos oleh saringan no 200 akan lebih besar dari 90% serta memiliki kuat geser 20-40 kN/m².

Salah satu contoh kasus yang dihadapi adalah proyek jalan tol sepanjang 28 km yang akan dibangun di Provinsi Sumatera Utara bagian selatan. Proyek pembangunan infrastruktur ini seringkali mendapatkan banyak hambatan, sehingga sulit untuk dilakukan. Beberapa hambatan yang muncul diantaranya adalah sebagian rencana section jalan tol sepanjang 3,50 km (Stasiun = Sta. 0 + 000 s.d. Sta. 3 + 500 m) harus dibangun di atas tanah pasir sangat lepas (*very loose*) sampai sangat padat (*very dense*), yang terletak di atas atau di antara tanah lanau berlempung dengan konsistensi sangat lunak sampai dengan sangat kaku. Karena apabila ada gempa dikhawatirkan kemungkinan adanya likuifaksi pada tanah pasir lepas tersebut dan penimbunan yang dilaksanakan di atas tanah lunak akan mengalami kegagalan geser dan penurunan yang berlebihan. Ini diakibatkan pada saat pemberian beban pada tanah akan mengakibatkan penurunan seketika diikuti oleh proses konsolidasi.

Belajar dari beberapa kasus sebelumnya, maka perlu dilakukan perencanaan yang baik pada bagian tanah asli dan timbunan di atasnya. Dengan tinggi timbunan badan

Cara mensitasi artikel ini:

Ma'ruf, M.A., Pratama, D., Pranatha, M. A., Rafi'atunnisa, M. S. (2020) Jalan Tol Sumatera Utara Bagian Selatan dengan Metode *Preloading*. *Buletin Profesi Insinyur* 3(1) 033-039

Pemilihan metode timbunan dipilih karena metode PVD lebih efektif di lapisan tanah dominan lanau (Kuswanda, 2015), sehingga tidak akan efektif pada tanah dengan lapisan pasir yang dominan. Metode timbunan dan *preloading* serta efektif dalam meningkatkan kepadatan dan kekakuan lapisan pasir di bawahnya. Prinsip ini serupa

Data yang digunakan dalam makalah ilmiah ini merupakan data hasil penyelidikan tanah di lapangan dimana data tersebut meliputi hasil penyelidikan lapangan yaitu data tanah Sta.0 + 000 s/d Sta.3 + 550m berupa data Bor Log dan nilai SPT seperti terlihat pada Gambar 1, serta data uji laboratorium. Dari data tersebut kemudian dilakukan analisa pengolahan data tanah dasar untuk mencari besarnya *settlement*, dan waktu yang diperlukan untuk konsolidasi tanah dasar. Kemudian dari hasil analisa tersebut, diperoleh tinggi timbunan rencana dan

Gambar 1. Bor Log Sta.0 + 000 s/d Sta.3 + 550m

perhitungan perencanaan perkuatan tanah. Hal tersebut guna untuk menyelesaikan solusi yang baik untuk pelaksanaan timbunan di jalan tol Sumatera

Pada kondisi tanah lunak yang mudah mampat dan tebal, memerlukan pembebanan sebelum pembangunan permanennya dilaksanakan. Ketika beban diletakkan di atas masa tanah, maka akan terjadi proses keluarnya air dari pori-pori tanah. Cara ini disebut pemberian beban awal (*preloading*). *Preloading* atau pemberian beban awal dilakukan dengan cara memberikan beban yaitu berupa timbunan sehingga menyebabkan tanah lempung akan termampatkan sebelum konstruksi didirikan (sumber: Hidayati, A.M. dan Ardana, M.D.W. 2008). Maksud dari *preloading* adalah untuk meniadakan atau mereduksi penurunan konsolidasi primer, yaitu dengan membebani tanah lebih dulu sebelum pelaksanaan bangunannya. Keuntungan dari *preloading*, kecuali mengurangi penurunan, juga meningkatkan daya dukung tanahnya. Apabila tanah tersebut bukan merupakan jenis tanah yang mudah memampat, tegangan air pori akan berkurang secara perlahan karena air pori hanya dapat mengalir dengan kecepatan yang sangat lambat dengan arah pengaliran vertikal. Apabila kondisi dilapangan seperti itu, maka *preloading* dilakukan secara bertahap. Adapun prinsip dari metode pra pembebanan (*preloading*) dan *surcharge* dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Prinsip metode pra pembebanan (*preloading*) dan *surcharge*

Apabila beban sementara melebihi beban akhir, maka beban tersebut dapat diasumsikan sebagai beban *surcharge* atau beban jalan. Metode *preloading* dilakukan dengan cara membiarkan *surcharge* tersebut dalam beberapa bulan (sebesar 2 s.d. 3 meter lebih tinggi dari rencana elevasi final timbunan) dan nantinya diambil kembali pada waktu (*t*) tertentu. Secara sederhana, tinggi timbunan *preloading* + *surcharge* (*H'*) dapat dicari dengan korelasi:

$$H' = H + \Delta H$$
$$\Delta H = S_c \cdot (\gamma_w / \gamma_{\text{timbunan}})$$

dengan:

H = tinggi timbunan rencana

ΔH = tinggi *surcharge*

S_c = total penurunan tanah akibat timbunan *H*

γ_w = berat volume air tawar / air laut

γ_{timbunan} = berat volume material timbunan

Beban sementara bisa dianggap tidak ada apabila pemampatan yang terjadi akibat beban tersebut adalah melebihi pemampatan yang di prediksi. Hal tersebut seharusnya tidak terjadi sebelum nilai *excess pore pressure* yang tersisa adalah dibawah bertambahnya nilai tegangan akibat pembebanan sementara tersebut. Dengan bertambahnya waktu pembebanan sementara yang berlebih, *secondary settlement* mungkin bisa berkurang atau bahkan tidak terjadi sama sekali (lihat Gambar 2). Kondisi tersebut disebabkan oleh penggunaan beban *surcharge* yang lebih besar dari pada beban kerja diatasnya yang dapat menyebabkan tanah bersifat *overconsolidated* dan nilai *secondary compression* pada tanah yang bersifat *overconsolidated* adalah lebih kecil dibandingkan dengan tanah yang bersifat *normally consolidated* (sumber: Chu dkk 2005).

Metode untuk mendesain tinggi pembebanan yang berhubungan dengan *engineering judgement* oleh perencana dilakukan dengan prosedur “*artificial aging*” yang dikembangkan oleh Bjerrum (1972). Penelitian tersebut menitik beratkan pada metode untuk menggunakan desain pre-loading dengan konsep “*artificial ageing*” yang sudah pernah dilakukan pada beberapa proyek. Konsep ini berhubungan dengan prinsip rangkak (*creep*), target nilai *degree of primary consolidation* untuk *preloading* dan besarnya pemampatan yang diinginkan. Hasil pemampatan tanah yang disebabkan oleh metode *preloading* dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Grafik Hasil Pemampatan Tanah yang Disebabkan oleh *Preloading*

Hasil Kerja

Penentuan Lapisan Tanah Tipikal

Pada tahapan awal perencanaan perlu dilakukan penentuan tanah tipikal untuk menentukan karakteristik tiap lapisan tanah. Penentuan tanah tipikal dilakukan sesuai dengan hasil di lapangan dengan menggunakan SPT (*Standard Penetration Test*). Penyelidikan lapangan menggunakan SPT dilakukan sebanyak 16 titik berbeda dan data laboratorium hasil penyelidikan tanah diambil dari contoh tanah pada lokasi disekitar jalan tol Palindra, Provinsi Sumatera Selatan. Penentuan lapisan tanah dilihat dari keseragaman nilai SPT. Data dianalisa dengan membandingkan jenis tanah dan analisa SPT untuk mendapatkan kedalaman tanah mampu mampat ($N-SPT \leq$

10). Data tanah hasil pengeboran dianalisa menggunakan korelasi nilai N-SPT terkoreksi atau tahanan konus untuk mendapatkan konsistensi tanah. Sehingga dapat diketahui bagaimana konsistensi tanah pada lokasi proyek yang digunakan dalam perencanaan. Sedangkan untuk mengetahui sifat-sifat dasar tanah pada sampel bor mesin yang dianalisa menggunakan korelasi dari hasil bor log dan nilai N-SPT dengan Karakteristik Tanah Lainnya (Sumber: J. E. Bowles, 1984 dalam wahyudi, 1999). Titik BH-30 diambil untuk keperluan desain karena memiliki kekuatan terendah dengan kedalaman tanah lunak yang paling dalam. Untuk lebih rincinya bagaimana konsistensi tanah pada titik BH-30 dapat dilihat pada Tabel 1.

Penentuan Parameter Tanah

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tanah pada lokasi jalan tol Palindra diketahui memiliki kadar air rata – rata (ω) yang sangat tinggi yaitu 86,62% dengan derajat kejenuhan 96,13%, berat jenis 2,54, berat isi basah 1,45 t/m³, dan berat isi kering 0,785 t/m³. Sedangkan angka pori (e) dan tingkat porositas (n) hasil pengujian menunjukkan 2,24 dan 69,13%. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui kondisi tanah dalam keadaan mendekati jenuh sempurna yang dikarenakan tinggi muka air pada titik yang ditinjau adalah 1 m di bawah permukaan tanah. Hasil pengujian laboratorium terhadap indeks properties tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 Korelasi N-SPT untuk Titik BH-30

Kedalaman (m)	h (m)	N-SPT (t/m ³)	γ	Konsistensi Tanah
0 - 25	25	4 - 6	1,8	Soft clay
25 - 37	12	6 - 15	1,8	Medium clay
37 - 48	11	4 - 10	1,6	Loose sand
48 - 50	2	11 - 30	1,8	Medium sand

Tabel 2 Hasil Pengujian Laboratorium

No.	Indeks Properties	Unit	Nilai
1.	Kadar Air (ω)	%	86,62
2.	Derajat Kejenuhan (Sr)	%	96,13
3.	Berat Jenis (Gs)	-	2,54
4.	Berat isi basah (γ_n)	t/m ³	1,45
5.	Berat isi kering (γ_d)	t/m ³	0,785
6.	Angka pori (e)	-	2,24
7.	Porositas (n)	%	69,135

Sedangkan hasil pengujian distribusi ukuran butiran yaitu melalui uji Analisa saringan dan hidrometer, menunjukkan bahwa 99,72% butiran tanah lolos diameter saringan 0,075 mm dengan koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien kelengkungan (C_c) adalah 1,5 dan 16,67 pada kedalaman 3 m di bawah permukaan tanah. Dari hasil pengujian Oedometer juga diketahui besar angka pori awal sebelum pengujian (e_0) 1,778 pada kedalaman 3 m di bawah permukaan tanah, koefisien pemampatan (C_c) dan koefisien konsolidasi (C_v) sebesar 0,88 dan 0,0642 cm²/detik. Sedangkan koefisien permeabilitas 7,08 x 10⁻⁶ cm/detik dan koefisien perubahan volume (mv) 0,049 cm²/kg.

Perencanaan Tinggi Timbunan

Material timbunan yang digunakan dalam perencanaan ini mempunyai $\gamma_{\text{timbunan}} = 2,0 \text{ t/m}^3$, $\gamma_{\text{sat timb}} = 2,0 \text{ t/m}^3$, $c_u = 0$, dan $\phi = 30^\circ$. Struktur timbunan yang direncanakan pada jalan tol di Sumatera Utara adalah sebagai berikut:

Lebar timbunan = 30 meter

Kemiringan timbunan = 1 : 2

Tinggi timbunan = 2 meter

Gambar potongan melintang perencanaan jalan dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Rencana Timbunan

Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Pada analisa ini tanah dianggap mengalami *Normally Consolidated*, sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya penurunan konsolidasi primer adalah sebagai berikut:

$$S_c = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_0} \right)$$

Berikut rekapitulasi nilai S_c yang terjadi secara kumulatif dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai S_c

H initial (m)	S_c (m)	H final (m)
2	1,811	0,189
3	1,819	1,181
4	1,827	2,173
5	1,834	3,166
6	1,841	4,159
7	1,847	5,153
8	1,853	6,147
9	1,859	7,141

Dari tabel diatas dapat dibuat hubungan antara H final (tinggi timbunan rencana) dengan H initial (tinggi timbunan awal) seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perencanaan Timbunan

H-Final (m)	H-Initial (m)	S_c (m)
2	3,825	1,825
3	4,832	1,832
4	5,839	1,839
5	6,845	1,845
6	7,852	1,852
7	8,859	1,859
8	9,866	1,866
9	10,873	1,873

Perhitungan Tinggi Kritis Timbunan

Dalam pelaksanaan di lapangan, timbunan biasa diberikan secara bertahap untuk menghindari kegagalan daya dukung tanah dasar maupun untuk mengurangi bahaya longsor

pada lereng di ujung-ujung timbunan. Untuk permasalahan ini parameter tinggi kritis timbunan factor keamanan daya dukung tanah dan factor keamanan lereng harus diperhitungkan secara akurat untuk menghindari kegagalan di tengah proses perbaikan tanah dengan metode pemberian beban timbunan. Untuk menghitung tinggi kritis timbunan pendekatan yang digunakan adalah pendekatan yang memiliki kaitan erat dengan konsep kuat geser tanah. Dalam analisa ini digunakan nilai FS sebesar 1,2, dengan nilai N_c 5,14 (berdasarkan tabel *Vesic's bearing capacity factors*), sehingga persamaannya menjadi:

$$H_{safe} = N_c \cdot C_u \cdot SF \cdot \gamma$$

Dengan nilai: $C_u = 16,67 \text{ kN/m}^2$ dan $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ sehingga diperoleh nilai H_{safe} (3,57 m) lebih kecil dari besar $H_{initial}$ (3,825 m) sehingga perlu dilakukan penimbunan secara bertahap, namun dengan mengasumsi bahwa tanah mengalami konsolidasi dua arah dimana tanah yang mengalami konsolidasi haruslah homogen dan isotropik sehingga parameter tanah dasar tidak mengalami kenaikan.

Perhitungan Waktu Konsolidasi

Dilakukan perhitungan waktu penurunan konsolidasi dengan persamaan berikut:

$$t = \frac{T_{90\%}(H_{dr})^2}{C_v}$$

Harga nilai $C_v = 0,0642 \text{ cm}^2/\text{detik} = 202,461 \text{ m}^2/\text{tahun}$. Maka waktu konsolidasi adalah 5,73 tahun. Berdasarkan analisa di atas dapat diketahui bahwa ketika tanah mengalami konsolidasi mencapai 90% maka waktu yang dibutuhkan dalam konsolidasi tersebut adalah 5,73 tahun.

Perhitungan Tinggi Kritis untuk Perkuatan Timbunan

Dari hasil analisa didapatkan besar timbunan tanah yang diperlukan tanpa penambahan beban *preloading* adalah sebesar 3,825 m, sedangkan bila diberi tambahan berupa beban *preloading* selama masa pekerjaan konstruksi, tinggi timbunan menjadi 5,825 m. Nilai faktor keamanan rencana yang digunakan adalah 1,25 dengan tinggi kritis timbunan (H_{safe}) adalah 3,57 m. Pemasangan geotekstil woven digunakan untuk memperkuat lereng. Untuk mendapatkan $H_{final} = 9 \text{ m}$ adalah $H_{initial} = 10,873 \text{ m}$, berdasarkan perencanaan panjang jalan tol yang harus diperbaiki yaitu sepanjang $L = 3,5 \text{ km} = 3500 \text{ m}$. Dengan asumsi lebar tanah dasar adalah $b = 50 \text{ m}$ dan perhitungan sebelumnya didapatkan $H_{safe} = 3,57 \text{ m}$ maka direncanakan geotekstil

diletakkan kurang dari $H_{safe} = 3,57 \text{ m}$ yaitu setinggi 10,873 m/4 = 2,72 m. Maka geotekstil diletakkan setiap ketinggian 2,72 m dan untuk lengan geotekstil diambil 5 m. Desain lebih detail dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. Sketsa Perkuatan dengan Timbunan

Dengan ini dilakukan perhitungan volume geotekstil yang dipakai untuk perbaikan, dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut: Volume geotekstil = $\frac{1}{2} (30+50) \times 10,873 \times 3500 = 1.522.220 \text{ m}$

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Untuk daftar kuantitas dan harga yang ditawarkan pada pekerjaan jalan tol Sumatera dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan perhitungan dari perencanaan anggaran biaya di atas, didapatkan total biaya yang diperlukan untuk proyek perbaikan jalan tol Sumatera sepanjang 3500 m adalah senilai Rp143.024.588.000,- (Seratus Empat Puluh Tiga Milyar Dua Puluh Empat Juta Lima Ratus Delapan Puluh Delapan Ribu Rupiah).

Kesimpulan

Dari hasil analisa didapatkan besar timbunan tanah yang diperlukan tanpa penambahan beban *preloading* adalah sebesar 3,825 m, sedangkan bila diberi tambahan berupa beban *preloading* tinggi timbunan menjadi 5,825 m. Nilai faktor keamanan rencana yang digunakan adalah 1,2 dengan tinggi kritis timbunan (H_{safe}) adalah 3,57 m. Pemasangan geotekstil woven digunakan untuk memperkuat lereng. Berdasarkan analisa rancangan anggaran biaya untuk proyek perbaikan tanah pada jalan tol tersebut didapatkan total biaya sekitar Rp143.024.588.000,- (Seratus Empat Puluh Tiga Milyar Dua Puluh Empat Juta Lima Ratus Delapan Puluh Delapan Ribu Rupiah).

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami berikan kepada Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat yang telah banyak membantu terlaksananya penelitian ini.

Tabel 5 Kuantitas dan perencanaan anggaran biaya

Uraian Kegiatan	Perkiraan Kuantitas	Satuan	Satuan Harga	Harga
PEKERJAAN TANAH				
Pembersihan Lapangan dan Perataan Tanah				
	1.522.220	m ³	Rp7.000	Rp10.655.540.000
	1.522.220	m ³	Rp70.400	Rp107.164.288.000
Pemasangan Geotekstil Woven				
	229.040	m ²	Rp17.000	Rp3.893.680.000
Pekerjaan Preloading				
	1.522.220	m ³	Rp14.000	Rp21.311.080.000
				Rp143.024.588.000

Referensi

- Badan Pusat Statistik (2019). Pertumbuhan Ekonomi Indonesia Triwulan I-2019. No. 39/05/Th.XXII, 6 Mei 2019
- Bjerrum et al., 1972. Bjerrum L., Clausen C.J.F., Duncan J.M. *General Report to Session IIIa: Stability of flexible structures*. Proc. Eur. Conf. Soil Mech. Found.
- Bowles, J. (1984). Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Edisi. Kedua. Erlangga. Jakarta
- Chu, J. and Yan, S.W. (2005), *Application of Vacuum Preloading Method in Soil Improvement Project. Case Histories Book*, Edited by Indraratna, B. And Chu, J. Elsevier, London, Vol.3: 91-118.
- Dhani, Noor (2013). Karakteristik Kolom Pasir Grouting Sebagai Metode Perkuatan Tanah Lempung Kepasiran. Tesis. Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar
- Hidayati, A.M. dan Ardana, M.D.W. (2008). Kombinasi Preloading Dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin). Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 12, No. 2, Juli 2008
- Kuswanda, W. P. (2015). Prosiding Semnas T. Sipil Unlam “Pembangunan Berkelanjutan di Lahan Basah” 16-17 Oktober 2015. Universitas Lambung Mangkurat
- Terzaghi, K. and Peck, R. (1967) *Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd Edition*, John Wiley, New York.
- Toha, F. X. 1989. Karakteristik Konsolidasi Lempung Lunak Banjarmasin. National Symposium on Soft Soil and Landslides. HATTI. Bandung
- Wahyudi, H., (1999). Daya Dukung Pondasi Dalam. Institut Teknologi Sepuluh November