

THE EFFECT OF USING PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD) ON TILTED BUILDINGS

Desy Rahmayanti¹ dan Rustam Effendi²

¹Program Studi Magister Teknik Sipil UNLAM

²Faculty of Engineering, Lambung Mangkurat University

ABSTRACT

As high-rise buildings continue to grow in number, the availability of land for such development shrinks. This has led to those buildings being constructed in very close proximity of each other. This can be a problem in areas with soft soil, such as Banjarmasin. It is apparent from the fact that those buildings lean toward each other quite shortly after they have been constructed, in such a way that they become structurally unstable. This research aims at finding a solution for this problem.

In this research the Soft Soil Creep (SSC) was used to model soil. The parameters include modified compression index (λ^) = 0.13, modified swelling index (κ^*) = 0.03, and the secondary compression index (μ^*) = 0.029 obtained from soil sampled in Banjarmasin at the Trisakti Port. The value of C_c is 0.9817, C_s is 0.132 and C_a is 0.176 with vulnerable void ratio (e_0) of 1,9-2,3.*

The simulation suggest that the problem can be solved using a combination of vertical drain and applying a particular amount of load in form of a soil heap on the side opposite that the building is tilted to. It is found the slope can be reduced significantly after only 4 years ($U=2.5\%$). The use of PVD up to 21 meters deep without a soil heap is unable the restore the building to its initial verticality. Hence, it takes a combination of the load and the vertical drain to obtain maximum results. The combined results produce a faster time in restoring the buildings verticality from ± 4.5 years to only ± 3 months.

Key words: tilted buildings, Banjarmasin's clays, consolidation, vertical drain, PLAXIS 8.2

1. PENDAHULUAN

Keberadaan gedung-gedung bertingkat di Banjarmasin terus bertambah dari waktu ke waktu. Hal ini mengakibatkan lahan untuk bangunan selanjutnya menjadi sempit sehingga gedung-gedung yang dibangun menjadi berdekatan. Gedung-gedung yang saling berdekatan di atas tanah lempung lunak (bahkan sangat lunak) mengakibatkan sangat sensitif terhadap interaksi tegangan antar gedung. Beban akan bertambah pada lapisan tanah di bawah gedung lama di sebelahnya. Hal ini disebabkan oleh gedung-gedung yang dibangun di daerah Banjarmasin menggunakan fondasi galam yang panjangnya sekitar 7 m (*floating foundation*).

Insinyur teknik sipil menyadari bahwa interaksi tegangan yang diakibatkan oleh adanya bangunan yang berdekatan dapat mengakibatkan kemiringan bangunan dan penurunan yang berbeda (*differential settlement*) dari fondasi bangunan. Hal ini

dapat terjadi baik pada bangunan yang dibangun secara bersamaan ataupun pada bangunan baru dibangun di dekat bangunan lama. Kemiringan ini didominasi oleh konsolidasi lempung yang ada di bawahnya (Effendi, 2013).

Bangunan miring ini tidak hanya mengakibatkan ketidaknyamanan tetapi juga kekhawatiran bagi pengguna terhadap kestabilan struktur gedung. Kemiringan ini juga mengurangi estetika dari bangunan tersebut. Sehingga kemudian pertanyaan muncul tentang apakah efek pada bangunan miring dapat dihindari atau dikurangi? Dengan munculnya pemikiran tersebut, penulis telah meneliti apakah diperlukan penanggulangan agar masalah bangunan miring tersebut kembali tegak ataupun setidaknya dapat mengurangi kemiringan gedung tersebut.

Untuk memperbaiki konstruksi gedung miring tersebut dapat dilakukan usaha salah satunya dengan menurunkan tanah di bawah bangunan di sisi yang berlawanan dengan

Correspondence : Desy Rahmayanti

arah kemiringan, di mana pada sisi tersebut penurunan yang terjadi lebih kecil. Tanah di Banjarmasin merupakan tanah lempung lunak. Tanah lempung ini merupakan tanah yang mempunyai kemampuan pemampatan yang besar, berbutir halus dengan butiran tanah yang lebih rapat sehingga ruang pori juga lebih kecil menyebabkan proses keluarnya air pori (konsolidasi) akan jauh lebih lambat oleh karena itu waktu penurunan yang terjadi lama dan mengakibatkan kestabilan tanah lambat tercapai. Oleh karena itu perbaikan tanah dengan menggunakan drainase vertikal (*vertical drain*) merupakan salah satu alternatif perbaikan yang tepat untuk dipilih dalam penanggulangan masalah gedung miring ini. Hal ini dikarenakan dengan penggunaan drainase vertikal ini dapat mempercepat waktu penurunan yang terjadi sangat lama seperti yang telah dikemukakan sebelumnya.

2. METODE PENELITIAN

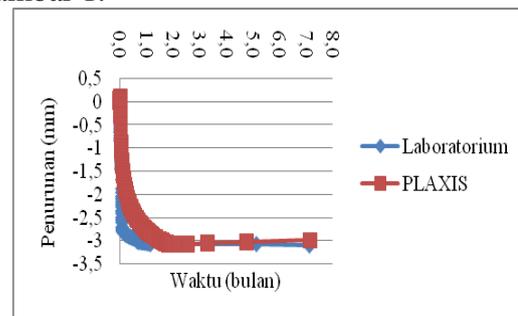
Prosedur pelaksanaan penelitian dimulai dengan pengumpulan data-data baik primer maupun sekunder misalnya data penyelidikan tanah, data uji laboratorium dan data parameter fisik tanah serta data drainasi vertikal. Kemudian dari hasil penyelidikan tanah tersebut diolah sehingga diperoleh jenis lapisan tanah di lapangan. Kemudian untuk data uji laboratorium diverifikasi melalui program PLAXIS dan dilanjutkan dengan pemodelan tanah lempung pada PLAXIS yang dimodelkan dengan Soft Soil Creep (SSC) baik untuk pemodelan bangunan maupun drainasi vertikal dikarenakan pada pemodelan ini dipertimbangkan perilaku penurunan tanah sekunder (*creep*) yang memang terjadi di lapangan. Selain itu model ini merupakan model tanah yang baru dikembangkan dan diaplikasikan untuk masalah penurunan fondasi, timbunan dan lainnya. Pada umumnya model tanah ini digunakan untuk tanah gambut dan lempung yang memiliki tingkat kompresibilitas yang tinggi. Sedangkan model drainasi vertikal dimodelkan dengan menyamakan

permeabilitas tanah *axisymmetric* dan *plane strain* pada program PLAXIS.

Adapun tahapan dalam *running* program PLAXIS yaitu *input*, *calculation*, dan *output*. Pada input terdiri dari input geometri dan data pemodelan. Yang setelah diverifikasi data-datanya kemudian dikombinasikan pengaruh drainasi vertikal jika dipasang pada tanah di bawah bangunan yang telah miring.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan oedometer dimaksudkan untuk melihat prediksi dibalik parameter yang diinputkan dari hasil pengujian laboratorium terhadap respons program PLAXIS sebelum digunakan pada pemodelan gedung secara menyeluruh, dan hasil antara percobaan laboratorium dan lainnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva Penurunan *Creep* vs Waktu untuk Beban 0,5 s/d 2 kg

Dari Gambar 1 dapat terlihat bahwa penurunan pada laboratorium dan pada program PLAXIS terlihat hampir sama, walaupun pada laboratorium terjadi penurunan 3,09 mm sedangkan pada program PLAXIS adalah 2,98 mm, yaitu terjadi selisih sebesar 0,09 mm atau sebesar 2,9 persen dari penurunan konsolidasi primer.

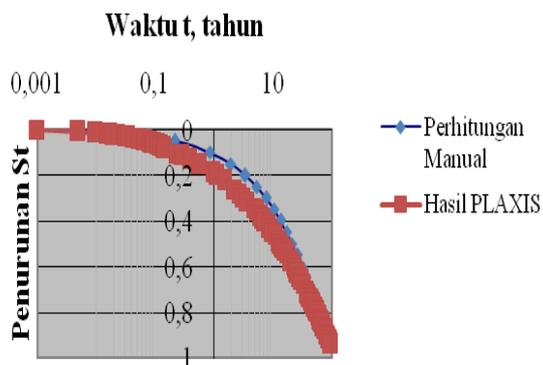
Respons program PLAXIS (Soft Soil Creep) setelah diverifikasi dengan grafik percobaan laboratorium adalah sebagai berikut:

- Berat Volume (γ) : $1,645 \times 10^{-8}$ kN/mm³
- *Cohesi* (c) : $2,2 \times 10^{-5}$ kN/mm²
- Sudut gesek dalam (ϕ) : 7°
- *Modified compression index* (λ^*) : 0,13
- *Modified swelling index* (κ^*) : 0,03
- *Secondary compression index* (μ^*) : 0,029

Sedangkan bangunan dimodelkan dengan beban yang sama yaitu masing-masing 40 kPa. Pemodelan ini dilakukan dengan jarak antar bangunan 1 m. Sebelum mensimulasikan pemodelan dua buah bangunan miring ada baiknya parameter yang telah didapat dari respons PLAXIS dilihat kembali prilakunya dalam skala besar yaitu dengan mensimulasikan dulu satu bangunan tunggal dan hasilnya dibandingkan dengan perhitungan penurunan konsolidasi secara manual. Untuk hasil dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 2.

Dilihat dari grafik hasil keluaran pada Gambar 2 tersebut terjadi selisih penurunan konsolidasi adalah sebesar $\pm 0,13$ m atau sebesar ± 13 cm dengan perbedaan waktu 10 tahun yaitu dari 1,13 m selama 202 tahun pada program PLAXIS yang dibanding dengan perhitungan penurunan manual 0,998 m dalam waktu 192 tahun.

Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh pengaruh *creep* yang pada pemodelan Soft Soil Creep. Selain pengaruh *creep* yang terjadi pada pemodelan SSC dalam perhitungan program PLAXIS menggunakan cara numerik dan mempertimbangkan penurunan arah vertikal maupun horisontal (2D) sedangkan pada perhitungan manual hanya penurunan vertikal saja. Untuk garis kontur *displacement* pada hasil keluaran simetris begitu juga untuk tegangan, hal ini disebabkan beban yang terjadi adalah simetris dengan dikondisikan rigid (kaku) sehingga untuk tegangan maupun penurunan yang dihasilkan pun terjadi simetris.



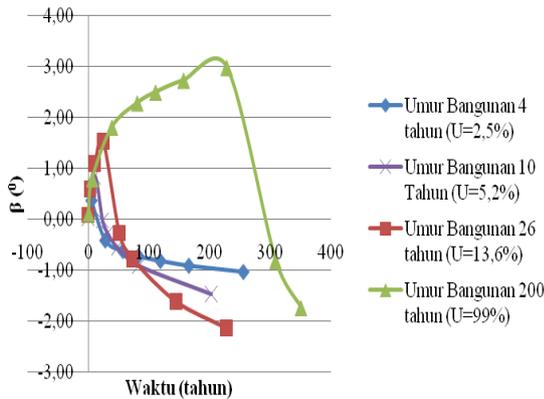
Gambar 2. Grafik Penurunan vs Waktu pada Bangunan

Untuk penurunan yang dihasilkan dapat terlihat bahwa penurunan pada titik A dan C, adalah pada titik C lebih besar dibandingkan pada hasil penurunan titik A pada beban yang sama. Hal ini terjadi dikarenakan pada titik C adalah titik di mana bangunan yang saling berdekatan sehingga terjadi *overlapping* tegangan di bagian titik tersebut.

Setelah dua buah bangunan dimodelkan dengan beban yang sama, maka kemudian pemodelan dikombinasikan dengan timbunan di samping bangunan yang dilakukan secara bertahap. Timbunan awalnya dilakukan dengan luas zona 2,5 m, tetapi dalam pelaksanaannya diperlukan ketinggian hingga 10 m untuk dapat mengembalikan bangunan menjadi tegak, sehingga untuk pemodelan selanjutnya penulis menggunakan luas zona 5 m dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2. Pada derajat konsolidasi 2,5% memerlukan timbunan setinggi 1 m untuk mengembalikan bangunan yang sudah miring, dan memerlukan waktu selama 1608 hari atau sekitar $\pm 4,5$ tahun baru mampu mereduksi kemiringan yang terjadi pada gedung yang telah miring, reduksi kemiringan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 untuk bangunan yang dilakukan penimbunan di sebelahnya (bangunan 1) untuk hasil kemiringan pada bangunan di samping yang tidak dilakukan penimbunan di sebelah bangunan (bangunan 2). Sedangkan pada sudut kemiringan bangunan 2 yang diberi timbunan di sebelahnya berbanding lurus terhadap waktu, hal ini berarti semakin bertambahnya waktu atau umur bangunan maka semakin besar pula kemiringan yang terjadi bangunan tersebut.

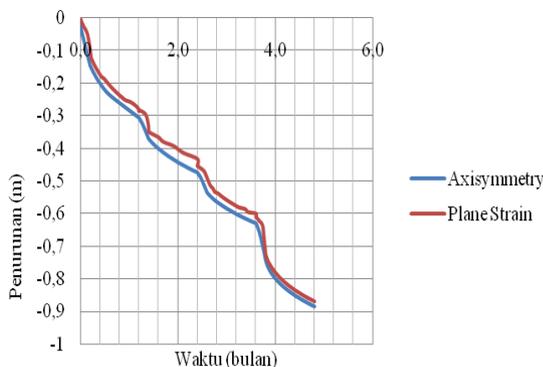
Selain pada saat umur bangunan 4 tahun, pemodelan timbunan juga dilakukan pada saat umur bangunan 10 tahun, 26 tahun dan 200 tahun untuk hubungan waktu dan sudut kemiringan dapat terlihat pada Gambar 3. Dari Gambar tersebut terlihat kecenderungan bahwa semakin cepat respons penanggulangan yang dilakukan terhadap bangunan yang dibangun berdekatan maka akan semakin cepat pula bangunan dapat dikembalikan walaupun dengan waktu yang lama untuk masing-masing umur bangunan,

sehingga untuk mempercepat maka diperlukan bantuan drainase vertikal untuk mempercepat konsolidasi yang terjadi.



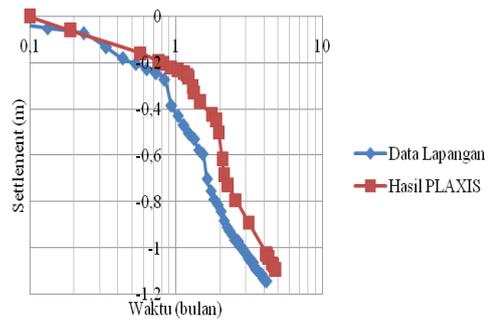
Gambar 3. Grafik Hubungan antara Sudut Kemiringan terhadap Waktu pada Variasi Umur Bangunan

Pada pemodelan drainase vertikal untuk verifikasi pemasangan drainase vertikal di lapangan dilakukan setempat-setempat, sedangkan fasilitas pengimplementasian pada program PLAXIS bersifat menerus (*plane strain*), maka untuk itu haruslah terlebih dahulu dilakukan verifikasi pemodelan drainase vertikal dari kondisi setempat-setempat ke kondisi menerus salah satunya dapat dilakukan dengan persamaan permeabilitas, maksudnya adalah permeabilitas pada kondisi *plane strain* dapat dirubah, dengan geometrik yang ditahan tetap baik kondisi *axisymmetry* maupun *plane strain*. Hasil *output* PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Penurunan vs Waktu untuk Kondisi *Axisymmetris* dan *Plane Strain*

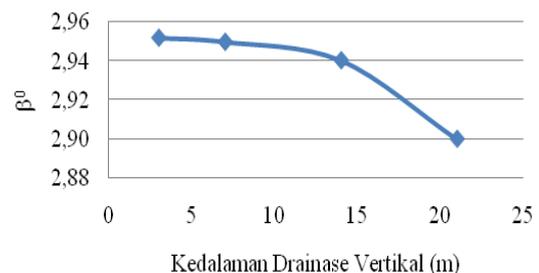
Dari permeabilitas yang telah digunakan tersebut dicoba diaplikasikan pada percobaan *settlement plate* dan dapat dilihat pada Gambar 5. Setelah dilakukan *trial and error* didapat permeabilitas yang sesuai yaitu $k_x = 6,945 \times 10^{-6}$ m/day dan $k_y = 1,74 \times 10^{-1}$ m/day maka diaplikasikan ke data lapangan yaitu hasil penurunan *settlement plate* (PT. Pelindo III, 2000). Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Penurunan vs Waktu untuk Kondisi Lapangan terhadap Respons PLAXIS Menggunakan *Trial and Error*

Untuk pemodelan bangunan dengan PVD tanpa timbunan, setelah didapat permeabilitas yang sesuai, maka permeabilitas tersebut diaplikasikan ke pemodelan selanjutnya. Sebelum dilakukan kombinasi antara PVD dan timbunan, terlebih dahulu akan dimodelkan antara PVD dan bangunan miring agar dapat diketahui seberapa banyak pengaruhnya drainase vertikal terhadap gedung yang telah miring.

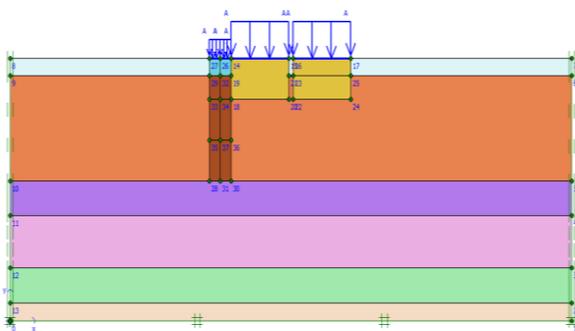
Drainase vertikal dipasang di sebelah bangunan 1 seluas 5 m dengan variasi kedalaman 3m, 7m, 14 m dan 21 m dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Sudut Kemiringan Bangunan terhadap Kedalaman Pemasangan PVD

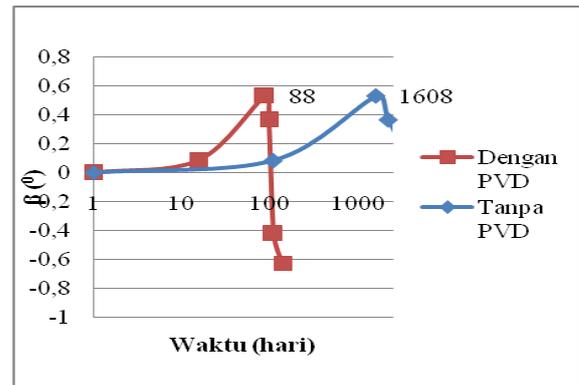
Dari Gambar 6 tersebut hasil kombinasi drainase vertikal dengan bangunan miring tersebut di atas terlihat bahwa semakin dalam dilakukan pemasangan PVD maka semakin berkurang pula sudut kemiringan yang telah terjadi, tetapi dari grafik tersebut juga dapat diambil kesimpulan bahwa pemasangan drainase vertikal hingga kedalaman 21 m ini masih belum mampu mengembalikan bangunan yang telah miring, hal ini mungkin dikarenakan tegangan yang dihasilkan oleh bangunan di sebelahnya terlalu besar dibanding sebelah bangunan yang dipasangkan drainase vertikal, sehingga penulis mencoba menkonbinasikan antara timbunan dan drainase vertikal untuk mendapatkan pengurangan kemiringan dengan waktu yang tidak terlalu lama.

Sedangkan pada pemodelan bangunan dengan timbunan dan PVD adalah dengan memodelkan dua buah bangunan dimodelkan dengan beban yang sama, kemudian pemodelan dikombinasikan dengan timbunan dan drainase vertikal di samping bangunan. Untuk permodelan tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemodelan Dua Buah Gedung dengan Timbunan dan PVD

Pada pemodelan ini dihasilkan kemiringan yang sama seperti pada Gambar 7 hanya saja waktu yang diperlukan hanya ± 90 hari atau sekitar ± 3 bulan, untuk hasil dapat dilihat dari perbandingan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hubungan antara Sudut Kemiringan (β^0) terhadap Waktu dalam Skala Log dengan Menggunakan PVD dibandingkan dengan Tanpa Menggunakan PVD pada Umur Bangunan 4 Tahun

Dari grafik tersebut terlihat bahwa penggunaan PVD sangat membantu dalam mereduksi waktu yang terjadi untuk mempercepat pengembalian kemiringan pada bangunan yang sebelumnya adalah $\pm 4,5$ tahun menjadi ± 3 bulan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini diperoleh solusi pada kasus bangunan miring di Banjarmasin adalah dengan menggunakan kombinasi drainase vertikal dan pembebanan (*surcharge*) yang diletakkan pada sisi yang berlawanan dengan arah kemiringan di mana pada sisi tersebut miring terjadi penurunan yang lebih kecil, selain itu juga dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahwa kemiringan bangunan yang banyak terdapat di Banjarmasin adalah diakibatkan dari jarak yang terlalu dekat antara satu dengan yang lainnya.
2. Pemodelan tanah yang digunakan dalam PLAXIS adalah Soft Soil Creep (SSC) dengan parameter *modified compression index* (λ^*) = 0,13 *modified swelling index* (κ^*) = 0,03 dan *secondary compression index* (μ^*) = 0,029 pada tanah Banjarmasin yang didapat dari percobaan pendekatan oedometer pada daerah

sampel tanah pelabuhan Trisakti yang dilakukan dengan parameter $C_c = 0,9817$, $C_s = 0,132$ dan C_α sebesar 0,176 dengan rentang angka pori (e_0) dari 1,9 s.d. 2,3.

3. Pada kasus kemiringan bangunan ini didapat kesimpulan bahwa semakin lama umur bangunan yang terjadi maka semakin bertambah pula kemiringan bangunan tersebut seiring dengan derajat konsolidasi yang bertambah.
4. Penggunaan beban timbunan (*surcharge*) di samping bangunan mempunyai pengaruh mengurangi kemiringan bangunan hanya saja waktu yang diperlukan terlalu lama. Misalnya saja dalam kasus ini untuk umur bangunan 4 tahun ($U=2,5\%$) waktu diperlukan untuk pengembaliannya adalah berkisar 4,5 tahun untuk dapat kembali tegak.
5. Sedangkan penggunaan PVD pada variasi kedalaman 3 m, 7 m, 14 m dan 21 m tanpa timbunan belum mampu mengembalikan kemiringan bangunan menjadi tegak, sehingga diperlukan kombinasi timbunan (pembebanan) dan drainase vertikal untuk mendapatkan hasil yang maksimal.
6. Pada hasil kombinasi drainase vertikal dan pembebanan tersebut menghasilkan waktu lebih cepat dalam pengembalian bangunan miring yang sebelumnya adalah $\pm 4,5$ tahun tereduksi hanya dalam waktu ± 3 bulan.

DAFTAR RUJUKAN

- Adiarta, Rianto. 2011. *Perancangan Gedung Tiga Lantai di antara Gedung Dua Lantai yang Masih Mengalami Proses Konsolidasi di Banjarmasin*. Banjarmasin. Fakultas Teknik UNlam.
- Sandhyavitri, Ari. 2007. *Analisa Perbaikan Sub-Grade Lapangan Terbang dengan Metode Vertical Drain (Studi Kasus Bandara Tempuling di Tembilahan, Prov. Riau)*. Pekanbaru. Fakultas Teknik UNRI.
- B. Mochtar, Indrasurya. 2000. *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah*. ITS ; Surabaya.
- Cook, Robert D. 1998. *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Bandung : PT. Refika Aditama.
- Craig. Robert. F. 2004. *Craig's Soil Mechanics Seventh Edition*. Dundee.
- Das, B, M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid I. Erlangga. Jakarta.
- Das, B, M. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 2. Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. & Larbi-Cherif, S. 1983. *Bearing capacity of two closely-spaced shallow foundations on sand*. *Soils and Foundations* **23**, No. 1, 1-7.
- Effendi, R. 2013. *Physical and Numerical Modelling of The Mitigation of Settlements due to Footing Interaction in Clay, Proceeding of International Seminar on University-Based Research for Wetland Development*. November 2013 Research Institution of Lambung Mangkurat University. hal: 121-138. ISBN: 978-602-14024-0-5.
- Graham, J., Raymond, G.P. & Suppiah, A. 1984. *Bearing capacity of three closely-spaced footings on sand*. *Geotechnique* **34**, No. 2, 173-182.
- Hardiyatmo, H.C. 2003. *Mekanika Tanah II edisi III*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hidayati, Anissa Maria dan Ardana, Made Dodiak Wirya. 2008. *Kombinasi preloading dan penggunaan pre-fabricated Vertical drains untuk mempercepat Konsolidasi tanah Lempung lunak (studi kasus tanah lempung Suwung Kangin)*. Skripsi S1 Geoteknik. FT. UNUD.
- Larsson, Rolf. 1986. *Consolidation of Soft Soils*. Swedish Geotechnical Institute.
- Markawie. 1999. *Analisis Tegangan – Regangan – Waktu Pada konsolidasi Biot Dengan Menggunakan Permodelan Tanah "Soft – Soil (Cap)"*. Tesis S2 Geoteknik. ITB : Bandung.

- Pahmi, Muzakir. 2010. *Perancangan Rusunawa IAIN Antasari Banjarmasin*. Banjarmasin. Fakultas Teknik Unlam.
- PT. Pelindo III. 2000. *Data tanah dan lokasi Trisakti*. Banjarmasin.
- Rahadian, H., Prabudi, S dan Chandra, YP. 2001. *Perilaku Penurunan Timbunan Di Atas Tanah lunak Menggunakan Teknologi Kombinasi Cerucuk Kayu dan Stabilisasi Cleanset*. Bandung. Makalah Seminar HATTI.
- Rini, Lady H dan Yusa, Muhammad. 2008. *Analisa Penurunan dengan Vertical Drain Menggunakan Program Plaxis Versi 8.2 (Studi Kasus Project Trakindo New Facility Pekanbaru)*. Pekanbaru. Fakultas Teknik UNRI.
- Schofield, Andrew and Wroth, Peter. 2001. *Critical State Soil Mechanics*. Lecturers in Engineering at Cambridge University.
- Stuart, J. G. 1962. *Interference between foundations, with special reference to surface footings in sand*. *Geotechnique* 12, No. 1, 15-22.
- Sujarwo, Eko Anton dan Algafilla, Andi. 2008. *Perencanaan PVD (Prefabricated Vertikal Drain) dan Preloading untuk Mempercepat Waktu Konsolidasi di Lahan Penumpukan Peti Kemas Pelabuhan Trisakti Banjarmasin Kalimantan Selatan*. Skripsi S1 Geoteknik. FT. UNLAM Banjarbaru.
- Wesley, L.D. 1997. *Mekanika Tanah, cetakan VI*. Pekerjaan Umum.
- Wood, David Muir. 2004. *Geotechnical Modelling Vers 2.2*. Abbots Leigh.