

Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah menggunakan *Metode Vacuum Consolidation* pada Perluasan Bandara di Kota Jambi

Rafika Rani¹, Muhamad Yusa², Ferry Fatnanta³

^{1,2,3} Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Riau Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293
Email: rafika.rani6612@grad.unri.ac.id, m.yusa@eng.unri.ac.id, ferry.fatnanta@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Bandara Sultan Thaha saat ini sedang diadakan Pekerjaan Perpanjangan *Runway*, pekerjaan perpanjangan *runway* ini dilakukan sepanjang 390 m ditambah panjang *Stopway* 60 m dan Panjang RESA 90 m. Kondisi tanah dasar disepanjang lokasi perpanjangan runway ini menurut data perencanaan adalah tergolong *soft* hingga *very stiff clay* disetiap kedalaman, muka air tanah dikedalaman -3 m maka perlu dilakukan perbaikan tanah. Seperti yang umumnya diketahui penggunaan *PVD Surcharge* harus disertai dengan pemberian beban (*preloading*) guna menimbulkan efek perbedaan tegangan di dalam tanah dan di permukaan tanah sehingga air dapat mengalir dengan mudah yang kemudian dipercepat melalui jalur-jalur *Vertical Drain* yang telah ditanam. Namun timbunan yang tinggi menyebabkan operasional bandara dapat terganggu karena tinggi tanah timbunan (*preloading*). Oleh sebab itu digunakan metode Vacuum Consolidation. Metode perbaikan tanah ini memasangkan pompa pada saluran yang akan disambungkan pada *PVD* yang menerapkan pengisapan vakum ke massa tanah yang terisolasi, mengurangi tekanan atmosfir di dalamnya, sehingga dengan mengurangi tekanan air pori di tanah sehingga tegangan efektif meningkat tanpa mengubah tegangan total. Hasil perhitungan menunjukkan besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan tekanan vakum sebesar 80 kPa dimana *PVD* dipasang segi empat dengan jarak 1.3 m memberikan hasil yang cukup signifikan yang dilihat dari segi penurunan dilapangan menggunakan instrumentasi geoteknik dan dilakukan analisis menggunakan Metode Observasi Asaoka dari settlement plate lapangan.

Kata Kunci : Perbaikan Tanah, *PVD*, *Vacuum Consolidation*

ABSTRACT

Sultan Thaha Airport is currently undergoing Runway Extension Work, the runway extension work is carried out along 390 m plus a stopway length of 60 m and a RESA length of 90 m. According to the planning data, the subgrade condition along the runway extension site for Sultan Thaha Airport is classified as soft to very stiff clay at every depth, the groundwater level is -3 m deep, so it is necessary to improve the soil. As is generally known, the use of *PVD Surcharge* must be accompanied by preloading to cause the effect of voltage differences in the soil and on the soil surface so that water can flow easily which is then accelerated through the vertical drains that have been planted. However, the high embankment causes airport operations to be disrupted due to the height of the embankment (*preloading*). Therefore, the Vacuum Consolidation method is used. This soil improvement method attaches a pump to the conduit to be connected to the *PVD* which applies vacuum suction to the isolated soil mass, reducing the atmospheric pressure within it, thereby reducing the pore water pressure in the soil so that the effective stress increases without changing the total stress. The calculation results show the consolidation settlement that occurs with a vacuum pressure of 80 kPa where the *PVD* is installed in a rectangle with a distance of 1.3 m. It gives quite significant results in terms of settlement in the field using geotechnical instrumentation and analyzed using the Asaoka Observation Method and Back analysis of Ch value from the field settlement plate.

Keywords: Soil Improvement, *PVD*, *Vacuum Consolidation*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah lunak menjadi permasalahan yang serius dalam pembangunan konstruksi jalan, gedung dan struktur atas lainnya karena kuat geser rendah serta tingkat kompresibilitas yang tinggi. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka salah satu alternatif adalah perbaikan tanah seperti penggunaan pondasi tiang yang digunakan di Indonesia alternatif lain adalah penggunaan *vertical drain* (*PVD*) untuk waktu mempercepat waktu penurunan konsolidasi agar kuat geser meningkat. Namun kadang-kadang misal

untuk tanah lunak yang terlalu tebal kadang kala waktu konsolidasi masih dianggap terlalu lama oleh klien. Kombinasi *PVD* dengan *vacuum* merupakan metode yang dapat digunakan dalam hal ini Yan dan Chu (2003) menyatakan bahwa biaya perbaikan tanah dengan pembebahan *vacuum* berkang 30% jika ditinjau dari penggantian pembebahan tambahan konvensional (prampembebahan). *Vacuum Consolidation Method* pertama kali diperkenalkan oleh Kjellman (1952) dengan konsep mengurangi tekanan air pori (dengan cara disedot) sehingga memaksa penurunan dalam waktu yang relatif lebih singkat dan meningkatkan kuat geser. Metode ini mulai

banyak digunakan di Indonesia walaupun masih dalam jumlah yang relatif sedikit sehingga menjadi bahan yang menarik untuk dikaji. Sebagai contoh, Wardana (2019) mengevaluasi penurunan dilapangan dengan perhitungan teoretis pada proyek *vacuum* konsolidasi dipembangunan jalan tol pematang panggang–kayu agung, Sumatera Selatan.

Diprediksi penurunan tanah akhir menggunakan metode observasi asaoka. Penggunaan metode *back analysis* sebagai parameter tanah baru untuk melengkapi data laboratorium tanah yang kurang lengkap. Dari studi yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa penurunan aktual dilapangan lebih kecil dari perolehan perhitungan teoritis.

Proyek perbaikan tanah dengan *vacuum* konsolidasi lain yang relatif baru adalah proyek perluasan bandar Jambi. PT. Angkasa Pura II melakukan perpanjangan *runway* pada Bandara Sultan Thaha untuk dapat melayani pesawat-pesawat yang berbedan lebar dengan melakukan peningkatan panjang dan lebar landasan dengan ukuran pada saat ini panjang 2.220 meter dan lebar 30 meter menjadi panjang 2.610 meter dan lebar 45 meter.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi nilai penurunan akhir dari instrumentasi geoteknik dengan Metode Asaoka. Kemudian mengevaluasi koefisien konsolidasi horizontal C_h (parameter aliran radial) berdasarkan pemantauan dilapangan menggunakan settlement plate data, untuk mengevaluasi nilai C_h dari data lapangan pemantauan tekanan air pori vibrating wire piezometer data, membandingkan penurunan, derajat konsolidasi, tekanan air pori antara hasil analisis dan data pemantauan.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Bandar udara di kota Jambi, Provinsi Jambi. Terletak di pinggiran kota paalmerah Jambi. Secara geografis berada pada koordinat $01^{\circ}38'17''$ LS dan $103^{\circ}40'BT$ dan terletak pada bagian pesisir timur dibagian tengah pulau



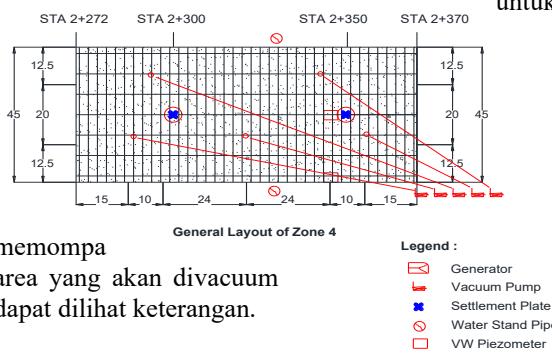
sumatera dengan luas wilayah kota $103,54 \text{ km}^2$ terdiri dari 11 kecamatan dan 62 kelurahan.

Gambar 1. Lokasi Penelitian

Untuk zona 1 tidak dilakukan perbaikan dikarenakan area RESA yaitu tempat keamanan landasan pacu seperti jika terjadi kerusakan pesawat.

Panjang RESA ini 90 m dan eksiting Stopway tidak dilakukan perbaikan tanah, stopway terletak diujung landasan sebagai tempat daerah henti pesawat untuk panjang Stopway 60 m. Pada awalnya perencanaan runway Bandara Jambi dilakukan metode PVD surcharge yaitu dengan panjang 95 m^2 pada zona 4 dan panjang 295 m^2 pada zona 2 dan 3. Penggunaan PVD Surcharge harus dengan beban preloading guna untuk efek perbedaan tegangan didalam tanah dan untuk diperluas tanah air mengalir cepat melalui PVD. Dikarenakan ketinggian beban preloading mencapai $4,46 \text{ m}$ di zona 2 dan zona 3 mencapai $3,72 \text{ m}$ bisa menganggu operasional bandara. Oleh karena itu penggunaan PVD Surcharge untuk zona 2 dan 3 diganti menjadi PVD *Vacuum Consolidation*.

Pada penataan perencanaan pemasangan instrumentasi dapat dilihat settlement plate berada di tiap-tiap tengah zona empat diikuti dengan piezometer yang tertanam dikedalaman 7 meter. Vacuum pump yang terlihat di beberapa sisi pada sebaran runway zona empat ini dikontrol menggunakan indikator dial gauge untuk mengetahui fungsi pada vacuum pump bekerja dengan baik. Alat monitoring water stand pipe berdiri diluar area vacuum pada zona empat dan ada satu komponen utama yaitu generator listrik sebagai sumber energi untuk



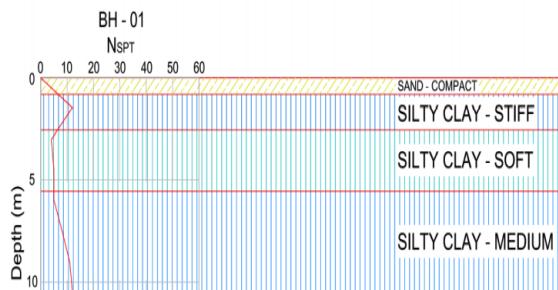
Gambar 2. Lokasi Penelitian

Data Stratigrafi dan Properties Tanah

Data serangkaian kegiatan penyelidikan tanah dibutuhkan untuk mengetahui stratifikasi tanah di lokasi studi seperti karakteristik tanah, parameter tanah juga untuk mengatasi potensi masalah geohazard seperti stabilitas, penurunan, daya dukung dan lain sebagainya yang akan digunakan dalam analisis penelitian ini. Lokasi proyek terdapat 4 titik bor pada lokasi terletak di sekitaran pekerjaan Bandara Sultan Thaha dari BH-01 sampai BH-04 Jambi. Data pengujian tanah ini dilakukan oleh pihak konsultan perencana. Hubungan nilai N-SPT dan kedalaman dari pengujian Bore log dapat menunjukkan variasi dari kedalaman tanah lunak dapat dilihat pada Tabel 1.

No	Titik Lokasi	Kedalaman (m)	UDS
1	BH-01	10.45	1
2	BH-02	12	1
3	BH-03	12	1
4	BH-04	12	1

Penyelidikan tanah diproyek ini dilakukan dibeberapa titik di area lokasi, termasuk didalamnya pengambilan sampel tanah undisturbed (UDS) yang diambil pada lokasi untuk diuji di laboratorium. Berdasarkan pengujian pemboran teknik dan SPT, berikut kondisi tanah dilokasi proyek pada BH-01 pada zona 4 (empat). Kondisi tanah didominasi oleh lempung atau lempungan dengan konsistensi lunak hingga kaku. Terdapat lapisan tanah pasir atau pasiran dengan konsistensi lepas hingga sedang pada kedalaman 0.0 sampai 0.80 meter. Tidak ada muka air tanah pada titik bor.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

Data Instrumentasi

Settlement Plate

Untuk monitoring dan quality control pada pelaksanaan PVD dan kombinasi *vacuum preloading* maka dilakukan pemantauan aktual serangkaian instrumentasi geoteknik berupa Settlement Plate, Piezometer dan Water Standpipe. Dalam penelitian ini berisi data hasil instrumentasi pada periode 27 Oktober 2018 sampai tanggal 31 Desember 2018 yang telah dilaksanakan oleh Cv. Multi Karya Sentosa. Pengolahan detail data akan dilaksanakan pada laporan bulanan.

Vibrating Wire Piezometer

Pemantauan piezometer bertujuan untuk mengukur perubahan tekanan pore water pressure yang diakibatkan oleh penambahan tegangan pada tanah sebagai reaksi dari *vacuum* atau timbunan. Instrumentasi ditempatkan di kedalaman yang ingin ditinjau. Pengujian piezometer mengacu pada standar SNI 03-3452-1994 dan SNI 03-3453-1994.

Pemasangan piezometer diawali dengan pembuatan lubang hingga kedalaman rencana enempatan alat lalu lubang dibersihkan dari material-material reruntuhan.

Pasir halus yang seragam dimasukkan pada dasar lubang hingga sekitar 50 cm di atas piezometer apparatus. Piezometer yang dipasang merupakan tipe VW yang telah dikalibrasi pabrikan pada tanggal 9 Juni 2018 dan berlaku selama 1 tahun. Pemasangan piezometer di zona 4 (empat) dilakukan tanggal 17 Oktober 2018.

Water Standpipe

Aktivitas untuk mengukur muka air tanah dapat menggunakan water stand pipe yaitu menggunakan pipa dipasang disisi terluar bagian *vacuum*. Hal ini dapat mengetahui bahwa sistem penutup *vacuum* berfungsi dengan baik dan relatif tidak ada pengaruh suction *vacuum* terhadap area di luarnya.

Data Prebafricated Vertical Drain (PVD)

Untuk monitoring dan quality control pada pelaksanaan PVD dan kombinasi *vacuum preloading* maka dilakukan pemantauan aktual serangkaian instrumentasi geoteknik.

Deksripsi	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Muka Air Tanah (m)	-1	-1	-1
Original Elevasi (m)	+15	+17	+19
Stripping (m)	0.3	0.3	0.3
Fill to Bot of pavement (m)	1.63	1.00	0
Aircraft +Pavement (m)	2	2	2
Timbunan Beban Kerja (m)	3,93	3.3	2.3
Elevation of total Fill (m)	+18,63	+20.00	+21.00
Lebar PVD (cm)	0,5	0,5	0,5
Panjang PVD (cm)	10	10	10
Kedalaman Penetrasi (m)	8	7	8
Pola	Persegi	Persegi	Persegi
Spasi (m)	1,0	1,3	1,3

Elevasi permukaan original runway sebagian besar berada dibawah level perkerasan sehingga timbunan diperlukan untuk mencapai target elevasi. Beban kerja yang dipertimbangkan untuk analisis timbunan pada perpanjangan bandara meliputi beban timbunan target elevasi, yaitu tebal timbunan yang diperlukan untuk mencapai dasar perkerasan. Termasuk pengupasan tanah exiting setebal 30 cm untuk menghilangkan akar dan vegetasi permukaan. Beban Pavement yaitu akibat tebal perkerasan runway dan shoulder sebesar 1.6 ton/m² dengan asumsi berat jenis timbunan 16 kN/m³.

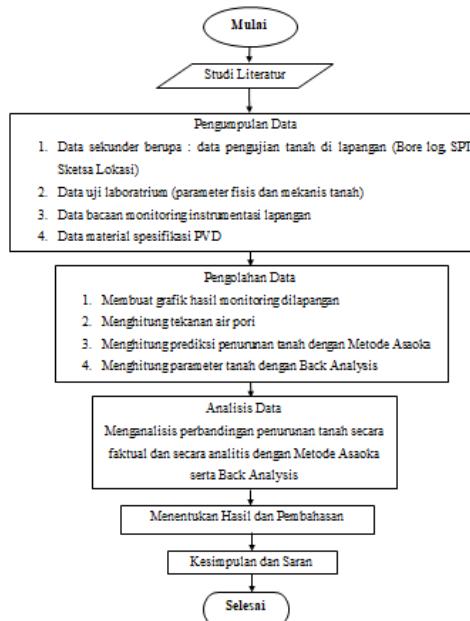
Data Vacuum Terhadap Muka Air Tanah

Sebanyak 6 (enam) titik bor existing yang dilakukan kontraktor pelaksana, dari pengamatan muka air tanah dilakukan selama proses pengeboran menunjukkan nilai muka air tanah sekitar kedalaman 1 hingga 3,3 meter dari permukaan tanah. Sebanyak 3 titik memiliki permukaan air tanah 1 meter. Hal ini cukup berbeda dengan hasil pengujian tanah di musim kemarau, dimana kedalaman muka air tanah mencapai 7 hingga 13 meter. Pada penelitian ini dilakukan analisa dengan menggunakan muka air tanah dikedalaman 1 meter untuk memperoleh kemungkinan penurunan terbesar.

Deksripsi	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Sand blanket (m)	0,8	0,8	0,8
PHD (m) dari dasar sand blanket	0,5	0,5	0,5
Berat jenis sand blanket (kN/m ³)	16	16	16
Surcharge diatas sand blanket (kN/m ³)	1,5	0,8	0
Berat jenis surcharge (kN/m ³)	16	16	16
Vacuum pressure (kPa)	80	80	80
Total pressure (kPa)	96,8	85,6	72,8
Total Timbunan (Beban Kerja+Surcharge) (m)	62,9	52,8	36,8

Bagan Diagram Alir

Berikut ini merupakan tahapan penelitian dalam perencanaan perbaikan tanah menggunakan *vacuum consolidation method* dengan sistem *prefabricated vertical drain* akan diringkas dalam bentuk bagan alir penelitian pada gambar 2.



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

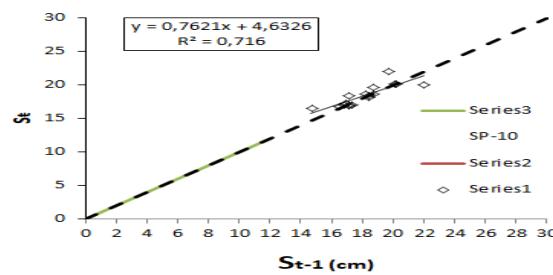
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Observasi Metode Asaoka

Hasil prediksi penurunan akhir dengan menggunakan metode Asaoka sangat tergantung pada data pengamatan penurunan yang ada untuk dapat digunakan. Metode Asaoka dari sebaran data periode 13 November 2018 – 31 Desember 2018.

Hari ke-n	Interval Hari	S _{t-1}	S _t
18	3	14,70	16,50
21	3	16,50	16,80
24	3	16,80	17,10
27	3	17,10	17,10
30	3	17,10	16,90
33	3	16,90	17,30
36	3	17,30	17,10
39	3	17,10	18,40
42	3	18,40	18,40
45	3	18,40	18,20
48	3	18,20	18,70
51	3	18,70	18,70
54	3	18,70	19,70
57	3	19,70	22,00
60	3	22,00	20,10
63	3	20,10	20,20
66	3	20,20	20,20

Pengambilan data untuk memprediksi penurunan akhir dengan metode Asaoka dimulai pada hari ke-18 hingga 66 hari. Dari hasil perpotongan linear sebagai contoh yang didapatkan dari data-data SP 10 dengan garis 45° untuk menentukan ke atas atau akhir untuk menentukan penurunan akhir adalah sebesar 22 cm.



Gambar 5. Prediksi penurunan akhir metode Asaoka

Analisis balik Nilai Ch dari Metode Asaoka

Dari hasil monitoring penurunan harian data settlement plate yang diperoleh untuk masing-masing settlement plate pada SP 10, SP 11 dan SP12, dapat diplot grafik antara penurunan dan waktu untuk perhitungan analisa balik parameter tanah didasarkan pada hasil penurunan akhir metode Asaoka. Nilai koefisien konsolidasi arah horizontal (Ch) ditentukan berdasarkan hubungan nilai β dari grafik Asaoka. sebagai contoh SP 10 dapat dilihat dari analisa balik parameter tanah baru. Berikut ini adalah penjabaran perhitungan back analysis Ch metode Asaoka pada kedalaman penetrasi PVD = 8 m. Untuk nilai cv sebesar $2,92 \text{ m}^2/\text{tahun}$ dan $t = 3 \text{ hari}$. Dimensi panjang pvd 100 mm, lebar pvd 5 mm. Untuk nilai $\beta_1 = 0,76208$ dan $\beta_0 = 4,633$ didapatkan dari hasil perpotongan garis interval metode Asaoka.

- a. Menentukan Diameter efektif dengan pola persegi

$$De = 1,128 \times s = 1,128 \times 1,3 \\ De = 1,4664 \text{ m}$$

- b. Menentukan Diameter ekivalen

$$Dw = \frac{2(a+b)}{\pi} = \frac{2(100+5)}{\pi} \\ Dw = 66,8451 \text{ mm}$$

- c. Menentukan Diameter efektif

$$n = \frac{De}{dw} = \frac{1,4664(100)}{66,8451} \\ n = 21,9373$$

- d. Menentukan Nilai Faktor Smear

$$Fn = \left[\frac{n^2}{(n^2-1)} \right] \ln(n) - \frac{(3n-1)}{(4n^2)} \\ Fn = \left[\frac{21,9373^2}{(21,9373^2-1)} \right] \ln(n) - \frac{(3(21,9373-1)}{(4(21,9373)^2)} \\ Fn = 2,34514$$

- e. Menentukan Nilai Ch radial

$$Ch = \frac{-\ln \beta_1 (fn)(De)n^2}{8t} \\ = \frac{-\ln 0,76208(2,34514)(1,4664)21,9373^2}{8,3} \\ = 570,889 \text{ cm}^2/\text{hari} \\ = 20,84 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

- f. Menentukan Niai Ch radial + vertikal

$$Ch = \frac{-\ln \beta_1}{\Delta t} = \frac{8Ch}{d^2F(n)} + \frac{\pi^2 Cv}{4H^2} \\ = \frac{-\ln 0,762083}{3(365)} \\ = \frac{8Ch}{1,4664^2(2,34514)} + \frac{\pi^2 2,92}{4 \cdot 8^2} \\ = 207665,2 \text{ cm}^2/\text{hari} \\ = 20,77 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

Hasil perhitungan dari persamaan diatas dapat disajikan nilai Cc pada rata-rata zona empat dan nilai Ch yang didapatkan dalam kondisi radial dan vertikal serta nilai Ch rata-rata.

Sp	Cc	Ch (m ² /tahun)	T90 (Hari)	Tanggal
10	0,14	20,77	35	17 Des 18
11	0,14	15,34	30	12 Des 18
12	0,14	13,11	43	25 Des 18

Dari hasil Ch diatas maka didapatkan nilai Ch rata-rata zona empat yaitu dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Ch rata-rata} = \frac{20,77+15,34+13,11}{3} \\ = 16,41(\text{m}^2/\text{tahun})$$

Dari hasil back analisis Ch pada zona empat dengan timbunan sebesar 0.8 m dengan tambahan vacuum diperoleh nilai Sf atau penurunan final pada tiap-tiap settlement plate ditentukan dengan nilai β_1 dan β_0 dari grafik Asaoka sebagai berikut :

Rata-rata Sf 100%

$$= \frac{19,47 + 18,11 + 14,47}{3} \\ = 17,44163 \text{ cm}$$

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan nilai penurunan akhir dari hasil instrumentasi monitoring settlement plate rata-rata monitoring yang terjadi pada zona empat yaitu SP10-SP12 menggunakan metode Asaoka adalah sebesar 17,9 cm sementara dengan melakukan perbaikan tanah dengan menggunakan Back Analysis Ch parameter aliran radial berdasarkan data lapangan settlement plate maka analisis Penurunan Ch dari Metode Asaoka memberikan hasil penurunan total sebesar $16,41 \text{ m}^2/\text{tahun}$ dengan SF 100% diperoleh dengan nilai sebesar 17,44 cm. Dari hasil perbandingan nilai penurunan berdasarkan pengamatan lapangan menggunakan settlement plate dilapangan yang dianalisis secara teoriti menggunakan Metode Asaoka dan analisa balik Ch maka memberikan hasil yang bagus dan tidak jauh selisih penurunan yang terjadi dilapangan.s

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asaoka, A. (1978). "Observational procedure of settlement prediction." Soils and Foundations, Vol. 18, No. 4, 87-101.
- [2] Barron, R.A., (1948). Consolidation of FinedGrained Soils by Drain Wells. Transactions of Amerian Society of Civil Engineerings 113, 718-754.

- [3] Bergado, D. T., Asakami, H., Alfaro, M.C and Balasubramanian, A.S. (1991) Smear effect of vertical drains on soft Bangkok clay, *J. Geotech. Eng., ASCE*, 117 (10), 1509-1530.
- [4] Bo, M.W., Chu, J., Low, B.K. and Choa, V. (2003). *Soil Improvement; Prefabricated Vertical Drain Techniques*, Thomson Learning, Singapore.
- [5] Chai, J. C., Carter, J.P., and Hayashi, S. (2005a), "Ground Deformation Induced by Vacuum Consolidation", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 131(12): 1552-1561.