Repository University of Riau
http://repository.unri.ac.id/
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.
© Hak Cipta milik Universitas Riau

APLIKASI METODE *VERTICAL DRAIN* UNTUK STABILISASI TANAH DASAR LANDASAN PACU LAPANGAN TERBANG

Dr. Ari Sandhyavitri, M.Sc
Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Riau, Kampus Binawidya, Panam,
Tel. 07617076556, Pekanbaru 28293, Riau
e-mail: ari@unri.ac.id dan
arisandhyavitri@gmail.com

Gunawan Wibisono, ST, MSc
Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Riau, Kampus Binawidya, Panam,
Tel. 08126826296, Pekanbaru 28293 - Riau

M. Dian Rioputra, ST
Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Kampus Binawidya, Panam,
Tel. 076166596, Pekanbaru 28293 - Riau

ABSTRACT

The existing sub-grade of the Tampuling Airport runway in Tembilahan City, Riau Province is in the group of peat soil with the depth of more than 30 m. The compressibility rate type of this soft soil is very high. Based on "the worst case scenario" without any soil stabilization treatment, it was estimated that the soil consolidation rate would reach 1.7 metres, within 20 years of period of settlement time. In order to speed up its consolidation process to stabilizing the soil (for becoming a sub-grade the run way), the vertical drain method was applied. The procedures for designing of pre loading for the soil, as well as the calculation of the distance between vertical drains are then demonstrated in this paper. It was recommended that the depth of the designed vertical drain would be 18 metres, with the distance between the vertical drains is 1.2 metres each; height of the soil pre loading is 4.5 metres. With these design parameters, it was expected that the settlement process would be accelerated by 40 folds (235 months to become 6 months period).

Key words: vertical drain, pre-loading, settlement, consolidation, sub-grade, airport run way.

ABSTRAK

Perbaikan *sub-grade* untuk menopang perkerasan lentur *runway* bandara Tampuling di Tembilahan, Propinsi Riau perlu dilakukan karena *sub-grade* nya terdiri atas lapisan tanah gambut dan tanah lunak. Tanah ini mempunyai kriteria sebagai tanah dengan tingkat kompresibilitas tinggi mencapai kedalaman 30 m. Berdasarkan skenarion terburuk, setelmen konsolidasi tanpa ada perbaikan tanah (*sub-grade)* akan terjadi sebesar 1,7 meter dalam 20 tahun (235 bulan). Upaya untuk mempercepat konsolidasi tanah dasar (untuk menjadi *sub grade* landasan pacu) dilakukan dengan memasang drainase vertikal (*vertical drain*). Perencanaan tinggi pre-loading, dan spasi drainase vertikal berikut kedalamannya mempengaruhi proses kecepatan konsolidasi dianalisa. Hasil perencanaan yang diusulkan adalah sebagai berikut; (i) kedalaman drainase vertikal = 18 m; (ii) spasi antar drainase = 1,2 m; dan (iii) tinggi preloading = 4,5 m.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Repository University of Riau http://repository.unri.ac.id
© Hak cipta milik Universitas Riau

Setelmen yang direncanakan dapat dipercepat sebesar 40 kali dari semula 235 bulan menjadi sekitar 6 bulan.

Kata Kunci : drainase vertikal, preloading, setelmen, konsolidasi., tanah dasar/*sub-grade*, landasan pacu *airport*.

PENDAHULUAN

Sejarahnya *runway* Bandar Udara Tempuling di Tembilahan pembangunannnya dimulai tahun 1981, tetapi kemudian terhenti dan ditutup sementara karena masalah pendanaan yang terbatas dan masalah teknis lainnya. Di awal tahun 2000an Pemda Indragriri Hilir melanjutkan lagi pembangun *runway* Bandar Udara Tempuling tersebut dengan sistem perkerasan lentur.

Tanah dasar areal pembangunan Bandar Udara Tembilahan yang berupa tanah gambut dan lempung lunak. Ini menyebabkan tanah dasar (*sub grade*) tidak mempunyai daya dukung yang memadai untuk menopang perkerasan lentur *runway* di atasnya. Selain itu tanah tipe ini juga memiliki tingkat kompresibilitas yang tinggi sehinga secara perlahan akan terjadi penurunan pada struktur bangunan di atasnya.

Perlu dilakukan perbaikan tanah untuk areal pembangunan *runway* lapangan terbang. Salah satu cara penanggulangannya dengan menggunakan metoda drainase vertikal (*vertical drain*) dengan pemberian beban awal (*preloading*) dan *geotextile*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sampai sebarapa jauh efek metoda drainase vertikal (*vertical drain*) tersebut dalam meningkatkan kinerja proses stabilisasi tanah di areal bandar udara Tembilahan.

STUDI PUSTAKA

Tanah (sub-grade) adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Tanah ini terbentuk dari proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi dekat permukaan bumi. Pembentukan tanah ini terjadi dalam dua proses yaitu, proses secara fisik dan kimia. Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran lebih dari satu macam ukuran partikelnya (Hardiyatmo, 1992).

Karakteristik Tanah Lunak

Das (1993) menyatakan nilai hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium, akan menunjukan bahwa tanah tersebut lunak apabila: Koefisien rembesan (k) sangat rendah $\leq$ 0.0000001 cm/dt, Batas cair (LL) $\geq$ 50%, Angka pori (e) antara 2,5 – 3,2, Kadar air dalam keadan jenuh antara 90% - 120%, dan Berat spesifik (Gs) berkisar antara 2,6 – 2,9.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Repository Universitas Riau http://repository.unri.ac.id
© Hak cipta milik Universitas Riau

Sehingga apabila pembebanan konstruksi di atas sub-grade melampaui daya dukung kritisnya, maka akan terjadi kerusakan pada pondasi dan kontruksi tersebut. Namun apa bila intensitas beban juga kurang dari daya dukung kritis *sub grade*, dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan (*settlement*) pada *sub grade* akan meningkat.

Tanah Gambut

Tanah gambut (PT = peat/humus) termasuk tanah organik, secara visuil dikenal sebagai massa berserat mengandung kekayuan, biasanya berwarna gelap dan berbau tumbuhan membusuk. Adanya bahan-bahan organik pada suatu tanah cenderung mengurangi kekuatan tanah tersebut. Tanah ini mengandung bahan organik yang tinggi mempunyai kuat geser rendah, mudah mampat, dan bersifat asam yang dapat merusak material bangunan (Hardiyatmo,1996).

Kemampumampatan Tanah

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan yang disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam tanah. Beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan.

Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu:

Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.

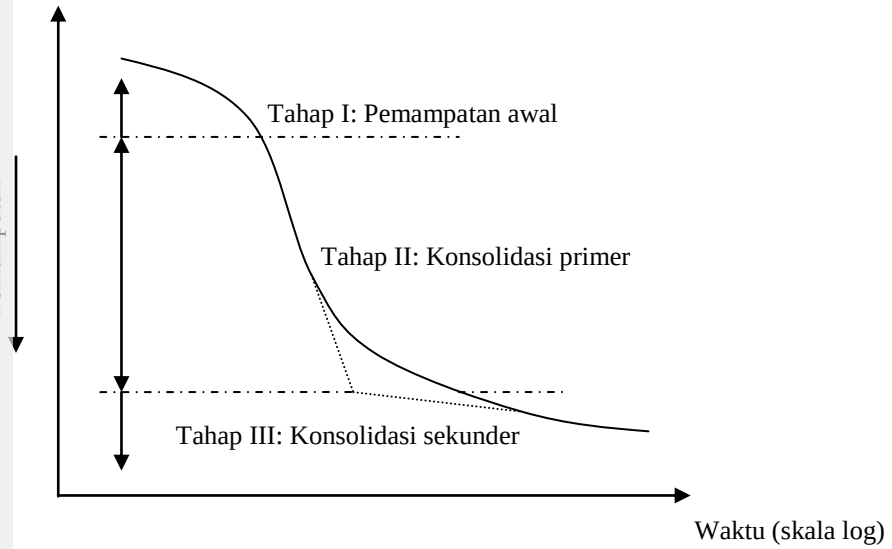
Penurunan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air (Das, 1993).

Penurunan Konsolidasi (Consolidation Settlement)

Bilamana suatu lapisan tanah lempung jenuh air yang mampumampat (*compressible*) diberi penambahan tegangan, maka penurunan (*settlement*) akan terjadi dengan segera. Koefisien rembesan lempung adalah sangat kecil dibandingkan dengan koefisien rembesan pasir sehingga penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang secara lambat laun dalam waktu yang sangat lama. Jadi untuk tanah lempung-lembek perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori (yaitu konsolidasi) akan terjadi sesudah penurunan segera. Penurunan konsolidasi tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat serta lama dibandingkan dengan penurunan segera (Das, 1993 dan Bowls, 1997).

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.
© Hak cipta milik Universitas Riau

Dapat dirangkum bahwa ada tiga tahapan pemampatan selama konsolidasi, yaitu:



Gambar 1. Grafik waktu-pemampatan selama konsolidasi untuk suatu Penambahan beban yang diberikan (Das, 1993).

Tahap I : Pemampatan awal (*initial compression*), yang pada umumnya adalah disebabkan oleh pembebanan awal (*preloading*).
Tahap II : Konsolidasi primer (*primary consolidation*), yaitu periode selama tekanan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif, sebagai akibat dari keluarnya air pori dari pori-pori tanah.
Tahap III : Konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*), yang terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi disini adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Perbandingan nilai tekanan prakonsolidasi dengan tekanan efektif vertikal pada saat tanah diselidiki menghasilkan dua kondisi yang didasarkan pada sejarah geologinya yaitu:
Terkonsolidasi secara normal (*Normally Consolidated*/NC), dimana tekanan efektif *overburden* saat ini adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami tanah tersebut.
Terkonsolidasi lebih (*Over Consolidated*/OC), dimana tekanan efektif *overburden* saat ini lebih kecil dari tekanan prakonsolidasi yang pernah dialami tanah tersebut.

Over Consolidated Ratio (OCR) suatu tanah didefinisikan sebagai:

$$OCR = \frac{P_c}{P_o} \qquad (1)$$

dimana:

P_c = tekanan prakonsolidasi.
P_o = tekanan vertikal efektif pada saat tanah tersebut diselidiki.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.
Repository Universitas Riau
https://repository.unri.ac.id
© Hak cipta milik Universitas Riau

Distribusi Tegangan di dalam Tanah

Suatu lapisan tanah akan mengalami kenaikan tegangan yang disebabkan oleh beban yang bekerja di permukaan tanah akan didistribusikan secara menyebar oleh massa tanah, jadi semakin dalam suatu lapisan tanah maka tegangan yang diterima akibat beban luar akan semakin kecil (Hardiyatmo, 1994).

Besarnya penambahan tegangan (σ_z) yang diakibatkan beban *embankment* (timbunan) dapat ditentukan dengan persamaan Boussinesq untuk beban terbagi rata berbentuk trapezium memanjang tak terhingga. Besarnya σ_z pada kedalaman z adalah (Boussinesq, 1885 dalam Hardiyatmo, 1994):

$$\sigma_z = I \times q \qquad (2)$$

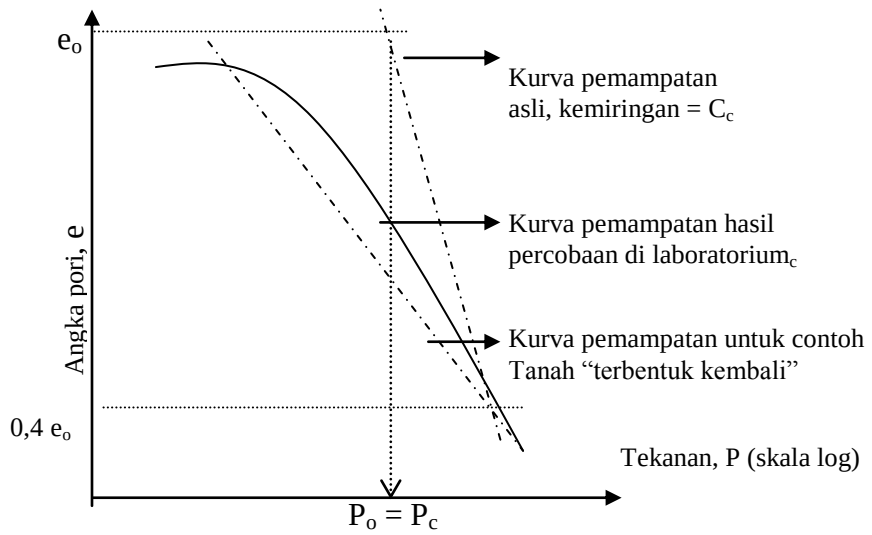
dimana:

I = faktor pengaruh yang merupakan fungsi dari kedalaman z dan ukuran *embankment* (dimana untuk beban (q) yang simetris $I_z = 2I_z$).

Nilai-nilai faktor pengaruh diberikan (Lihat Osterberg, 1957 dalam Hardiyatmo, 1994)

Perhitungan Penurunan yang Disebabkan oleh Konsolidasi Primer Satu Dimensi

Penurunan konsolidasi disebabkan oleh keluarnya air pori-pori tanah, akibat adanya penambahan tekanan. Dari hasil pengujian pembebanan di laboratorium, dimana pengujian tersebut dilakukan dengan satu arah pembebanan vertikal, dapat menghitung kemungkinan penurunan yang disebabkan oleh konsolidasi primer di lapangan (Das, 1993).



Gambar 2. Karakteristik kondisi lempung yang terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*) dengan sensitivitas rendah sampai sedang (Das, 1993)

Suatu lapisan lempung yang tebal, adalah lebih teliti bila lapisan tanah tersebut dibagi menjadi beberapa sub lapisan dan perhitungan penurunan dilakukan secara terpisah untuk tiap-tiap sub lapisan. Jadi, penurunan total dari seluruh lapisan tersebut adalah:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.
Repository University of Riau https://repository.unri.ac.id © hak cipta milik Universitas Riau

$$S_c = \frac{C_c \; x \; H_i}{(1+e_o)} \log\left(\frac{P_{o(i)} + \Delta p_{(i)}}{P_{o(i)}}\right) \qquad (3)$$

dimana :
H_i = tebal sub lapisan
$P_{o(i)}$ = tekanan efektif *overburden* untuk sub lapisan i
$\Delta p_{(i)}$ = penambahan tekanan vertikal untuk sub lapisan i

Waktu Penurunan Konsolidasi
Proses pemampatan konsolidasi pada tanah lempung yang tebal berlangsung sangat lama, perbandingan antara pemampatan tanah pada saat t dengan pemampatan total yang terjadi disebut derajat konsolidasi. Nilai derajat konsolidasi ini antara 0% sampai 100%, derajat konsolidasi pada saat t dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$U = \frac{S_t}{S} \; x \; 100\% \qquad (4)$$

dimana:
U = derajat konsolidasi
S_t = pemampatan pada saat t
S = pemampatan total yang terjadi
Lama waktu untuk proses pemampatan konsolidasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$t = \frac{T_v \; x \; H^2}{C_v} \qquad (5)$$

dimana:
t = lama waktu yang dibutuhkan menyelesaikan pemampatan konsolidasi
T_v = faktor waktu
H = panjang aliran yang harus ditempuh oleh air pori untuk mengalir keluar
C_v = koefisien aliran air arah vertikal (harga C_v didapatkan dari hasil uji konsolidasi satu dimensi).
Harga dari faktor waktu (T_v) berhubungan dengan derajat konsolidasi, nilai dari faktor waktu tersebut diberikan sebagai berikut:
Untuk U = 0 – 60%

$$T_v = \frac{\pi}{4}\left(\frac{U\%}{100}\right)^2 \qquad (6)$$

Untuk U > 60%

$$T_v = 1.781 - 0{,}933 \log (100 - U\%) \qquad (7)$$

METODOLOGI PENELITIAN

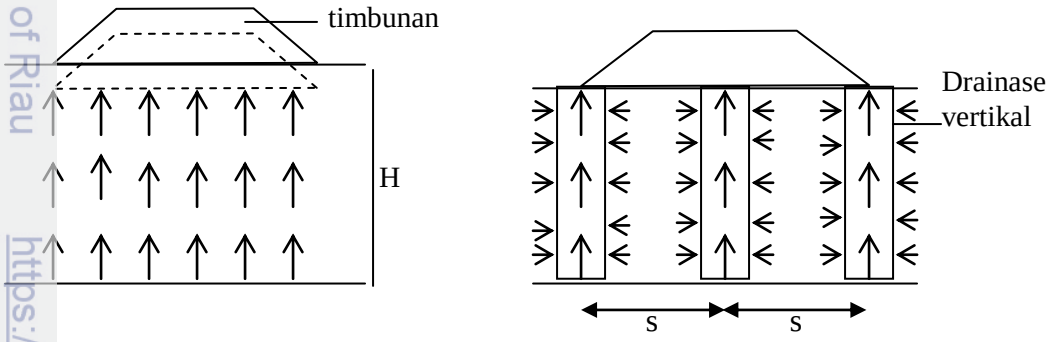
Penyelidikan tanah di lapangan meliputi uji pemboran dengan pengambilan contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) yang dilaksanakan sebanyak 3 titik pemboran berikut *standartd penetration test* (SPT). Penentuan klasifikasi tanah yang mengacu

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.
Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
© Hak Cipta milik Universitas Riau

pada USCS (*Unified Soil Clasification System*) terhadap lapisan tanah pada setiap titik pemboran.

Metoda Drainase Vertikal

Metoda drainase vertikal ini sering diterapkan bersama-sama dengan metoda pemberian beban awal (*preloading*). Pada perencanaan perbaikan tanah ini, untuk drainase vertikal menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).



(a) (b)

Gambar 3. Dua kondisi tanah lunak yang mengalami konsolidasi (Hardiyatmo, 1992) (a) Tanpa drainase vertikal, (b) Pakai drainase vertikal.

Gambar 3a menunjukkan bahwa air pori hanya dapat mengalir keluar arah vertikal saja dengan panjang aliran setebal lapisan tanah yang memampat (H). Tetapi dengan dipasangnya drainase vertikal (Gambar 3b), air pori dapat mengalir dalam dua arah vertikal dan arah horizontal (kearah drainase vertikal). Panjang aliran arah horizontal lebih pendek (dibandingkan lapisan tanah, H) yaitu 1/2D. Harga D adalah diameter equivalen daerah yang dipengaruhi oleh satu drainase vertikal. Harga D ini sama dengan jarak antara drainase vertikal (S).

Sistem drainase vertikal berdasarkan teori aliran pasir vertikal yang menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi menjelaskan beberapa anggapan sebagai berikut:

Lempung jenuh air homogen.

Semua regangan tekan (*compressive strain*) dalam tanah bekerja secara vertikal saja.

Aliran air pori horisontal, tidak ada aliran arah vertikal.

Kebenaran hukum Darcy tentang koefisien permeability (k) pada semua lokasi

Air dan butiran tanah relatif tak termampatkan dibandingkan dengan kemampumampatan struktur susunan partikel lempung.

Beban tambahan pada mulanya diterima oleh air pori yang melebihi tegangan hidrostatis.

Daerah pengaruh aliran dari setiap *drain* berbentuk silinder.

Metoda *Preloading*

Pada kondisi tanah lunak yang mudah mampat dan tebal, memerlukan pembebanan sebelum pembangunan permanennya dilaksanakan. Cara ini disebut pemberian beban

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.
Repository Universitas Riau
http://repository.unri.ac.id
© Hak cipta milik Universitas Riau

awal (*preloading*), 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.

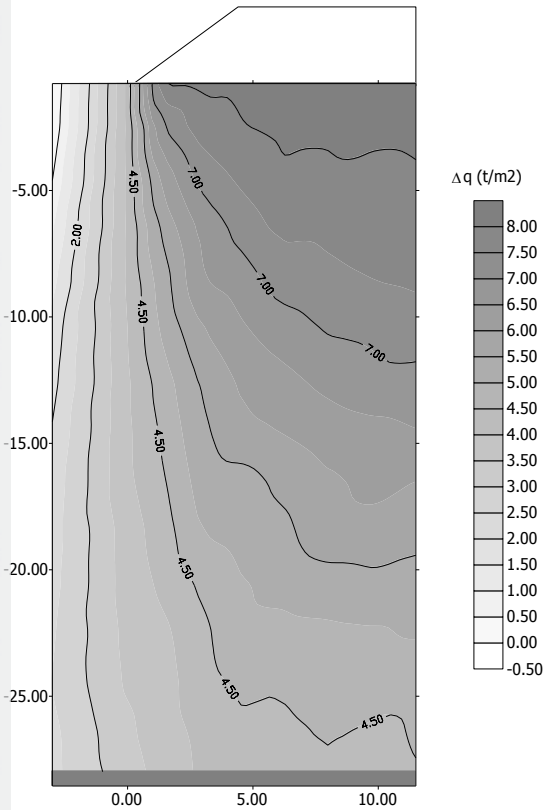
Berdasarkan metoda ini, tanah dasar yang akan digunakan akan termampatkan sehingga daya dukung tanah dasar akan lebih baik. Selain itu pemampatan yang terjadi pada saat konstruksi didirikan akan lebih kecil atau hilang sama sekali. Hal yang harus diperhatikan untuk merencanakan beban preloading adalah:
Besar pemampatan yang harus dihilangkan
Daya dukung tanah dasar dalam menerima beban
Waktu yang tersedia untuk perbaikan daya dukung tanah dasar
Besar pemampatan yang akan terjadi akibat pembebanan sangat tergantung pada besar beban yang akan diberikan dan perilaku kemampumampatan tanah.

Prefabricated Vertical Drain (PVD)
Pada prinsipnya teori PVD sama dengan metode drainase pasir. Drainase ini terdiri dari kolom pasir yang dibuat secara vertikal dalam lapisan tanah lunak. Sewaktu dibuat drainase pasir, maka dengan asumsi bahwa tanah pondasi itu dapat diganti dengan suatu model silinder dan air pori mengalir secara horisontal kearah drainase pasir tersebut. Jadi semakin pendek ruang antara kolom, semakin pendek pula waktu konsolidasi. Umumnya drainase vertikal itu sering di abaikan karena panjang efektif adalah lebih kecil dari tebal (H) dari lapisan lemah itu.

Prefabricated Vertical Drain (PVD) dibuat sebagai tiruan dari alur aliran air dimana dapat dipasang dengan beberapa metoda dan masing-masing mempunyai beberapa karakteristik fisik. PVD dapat diartikan sebagai bahan yang difabrikasi (*Prefabricated*) atau produk yang mempunyai karakteristik : (i) Dapat dipasang vertikal pada lapisan tanah yang mampu memampat (*Compressible*), (ii) Dapat mengalirkan air pori tanah yang diserap oleh lapisan penyerap, dan (iii) Diartikan juga sebagai pengumpul air pori tanah yang disalurkan keatas dan ke bawah sepanjang PVD tersebut.

PEMBAHASAN

Pembebanan oleh timbunan (*preloading*) memberikan peningkatan tegangan pada lapisan-lapisan tanah di bawahnya. Hasil perhitungan tersebut dapat digambarkan dalam bentuk kontur distribusi tegangan setengah bagian (*half space*) seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Jarak Melintang Beban (m)

Gambar 4. Kontur distribusi tegangan akibat pembebanan

Pada Gambar 4 di atas tampak bahwa maksimum tegangan akibat pembebanan terjadi pada tengah penampang timbunan. Perhitungan setelmen dan drainase vertikal untuk desain akan menggunakan nilai-nilai yang ada pada potongan di tengah penampang ini untuk memberikan suatu desain yang lebih konservatif.

Dari kontur tersebut juga tampak bahwa distribusi tegangan pada kedalaman 18 m (kedalaman pemasangan drainase vertikal yang direncanakan) adalah sekitar 5 t/m^2 atau sekitar 60% dari tegangan akibat pembebanan yang terjadi di permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh pembebanan sebenarnya masih cukup signifikan terjadi pada kedalaman tanah di bawah 18 m dan perlu dipertimbangkan dalam mendesain vertikal drainase. Pertimbangan yang dimaksud adalah setelmen yang dapat terjadi pada lapisan di bawah kedalaman 18 m yang berlangsung di luar waktu desain yang direncanakan (>6 bulan).

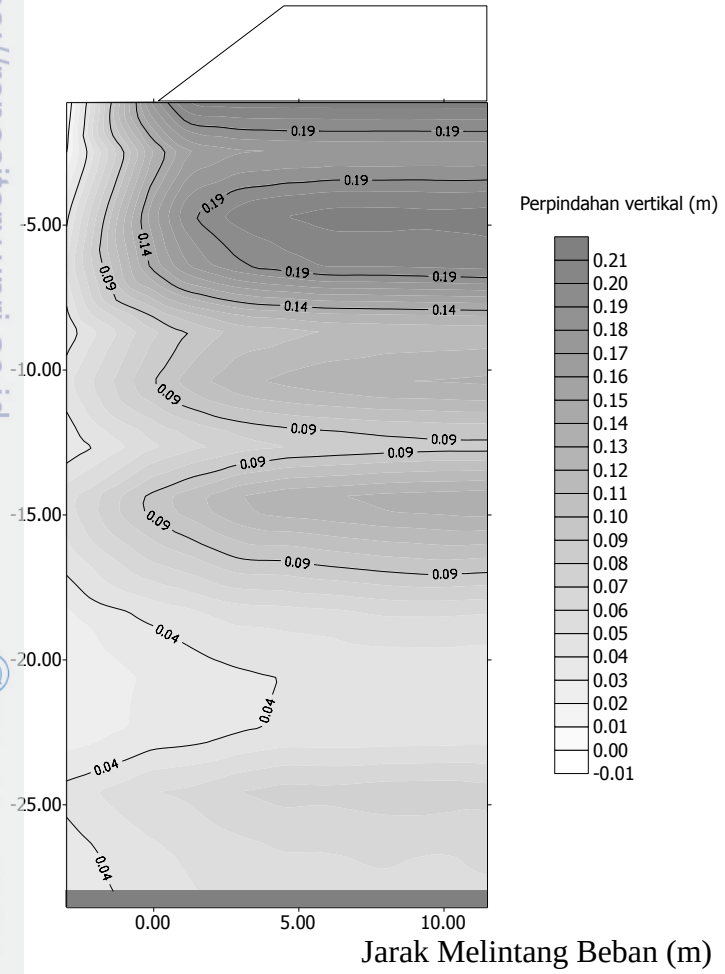
Deformasi Vertikal (Setelmen) akibat Pembebanan

Pembebanan yang mengakibatkan naiknya tegangan pada setiap lapisan tanah seperti pada Gambar 4.1 akan menaikkan pula tegangan air pori pada lapisan yang terletak di bawah muka air tanah. Kelebihan tegangan air pori ini akan berkurang (terdisipasi) sampai mencapai kondisi setimbang yang waktunya tergantung pada propertis tanah pada setiap lapisan. Seiring dengan terdisipasinya air pori ini maka tanah akan mengalami deformasi atau lebih dikenal dengan setelmen konsolidasi. Besarnya

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
© Hak Cipta Milik Universitas Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

deformasi vertikal pada setiap lapisan dihitung secara 1 dimensi (vertikal) berdasarkan parameter uji oedometer. Kontur setelmen untuk setiap lapisan ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 tampak bahwa lapisan yang paling besar deformasinya adalah pada lapisan dekat dengan permukaan dan lapisan dengan kedalaman sekitar 5 m dari permukaan. Besar pemampatan yang terjadi pada lapisan tersebut adalah sekitar 20-22 cm. Jika tebal lapisan adalah 200 cm, maka regangan vertikal yang terjadi adalah sekitar 10%, suatu nilai yang menunjukkan bahwa tanah ini sangat kompresibel. Nilai deformasi ini bersesuaian dengan jenis tanah hasil penyelidikan yang menunjukkan bahwa pada lapisan dekat dengan permukaan (0-2 m) merupakan tanah organik (gambut) dan tanah lempung kelanauan dengan konsistensi lunak pada lapisan dengan kedalaman sekitar 5 m. Besarnya deformasi juga sangat dipengaruhi oleh tingginya indeks kompresi (Cc) pada lapisan tanah tersebut di samping parameter lain, seperti tegangan pembebanan dan angka pori tanah.

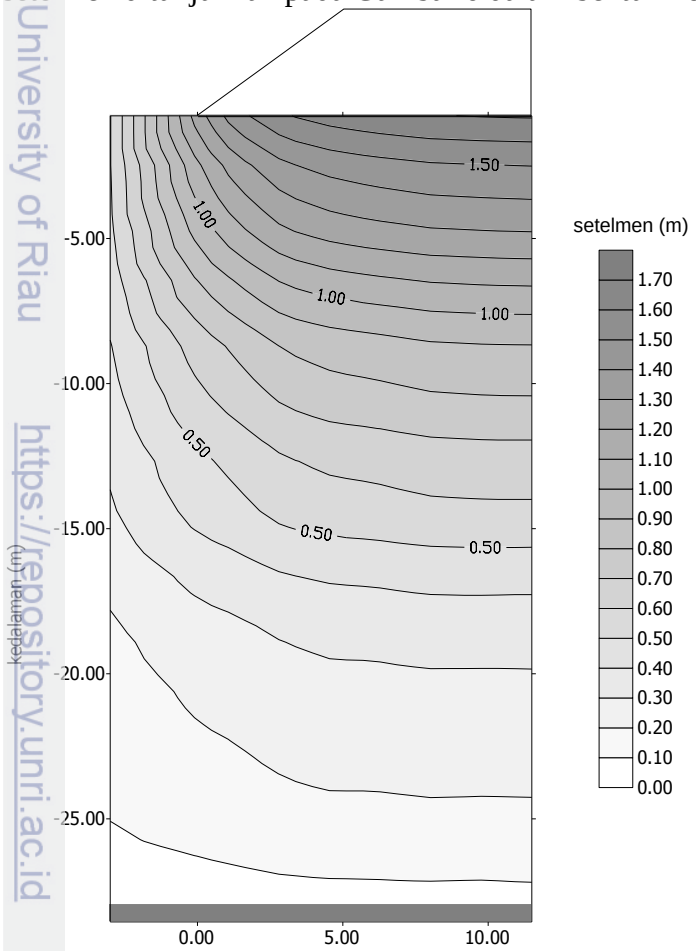


Gambar 5. Kontur Deformasi Vertikal per Lapisan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.
Repository Universitas Riau https://repository.unri.ac.id
© Hak cipta milik Universitas Riau

Repository University of Riau
https://repository.unri.ac.id
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Deformasi vertikal yang terjadi pada setiap titik lapisan tanah yang merupakan kumulatif besarnya deformasi mulai dari lapisan paling bawah atau yang lebih dikenal dengan setelmen ditunjukkan pada Gambar 6 dalam bentuk kontur setelmen.



Gambar 6. Kontur Nilai Deformasi Vertikal (Setelmen)

Dari Gambar 6 tersebut tampak bahwa setelmen terbesar terjadi pada tengah penampang timbunan dengan nilai setelmen sebesar 1,7 m. Sedangkan pada bagian tepi timbunan setelmen yang terjadi adalah sebesar 1,25 m, atau sekitar 73% besarnya setelmen di tengah timbunan. Bentuk kontur setelmen ini identik dengan bentuk kontur tegangan akibat pembebanan sebelumnya (Gambar 4).

Bentuk deformasi vertikal yang terjadi pada permukaan timbunan setelah terjadinya setelmen dengan derajad konsolidasi 90%, diperlihatkan pada Gambar 6. Tampak bahwa permukaan timbunan akan turun sampai pada elevasi sekitar 2,8 – 3,25 m.

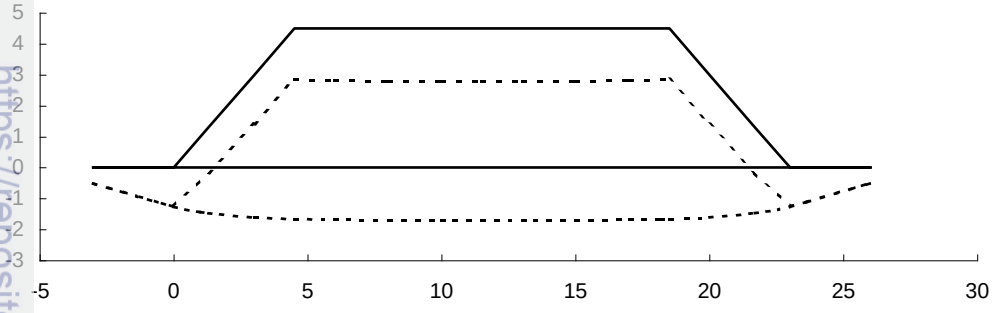
Terdapat beberapa hal yang harus dipertimbangkan dari hasil perhitungan setelmen ini. Timbunan yang difungsikan sebagai *preloading* memiliki arti bahwa elevasi akhir permukaan timbunan setelah terjadinya setelmen yang diinginkan akan tetap

© hak cipta milik Universitas Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Repository Universitas Riau
https://repository.unri.ac.id
© Hak cipta milik Universitas Riau

dipertahankan dan dijadikan sebagai dasar konstruksi perkerasan landas pacu. Elevasi permukaan timbunan sekitar 2-8 – 3,25 m tersebut adalah sangat tinggi dibandingkan dengan elevasi permukaan awal, sehingga bagian tepi timbunan tentunya harus diurug untuk mencapai kelandaian konstruksi landas pacu yang disyaratkan dalam desain. Pengurugan tanah ditepi timbunan ini akan menimbulkan 2 (dua) implikasi. Pertama, pengurugan akan meningkatkan biaya konstruksi, mengingat luasnya areal yang harus diurug. Kedua, beban tanah urug akan mempengaruhi stabilitas timbunan yang sudah ada. Tanpa adanya perkuatan tambahan seperti geotekstil atau *berm* timbunan yang sudah ada dapat mengalami *crack* atau keruntuhan. Hal ini akan sangat fatal jika pengurugan dilakukan pada saat atau setelah pembangunan konstruksi landas pacu (*run way*).



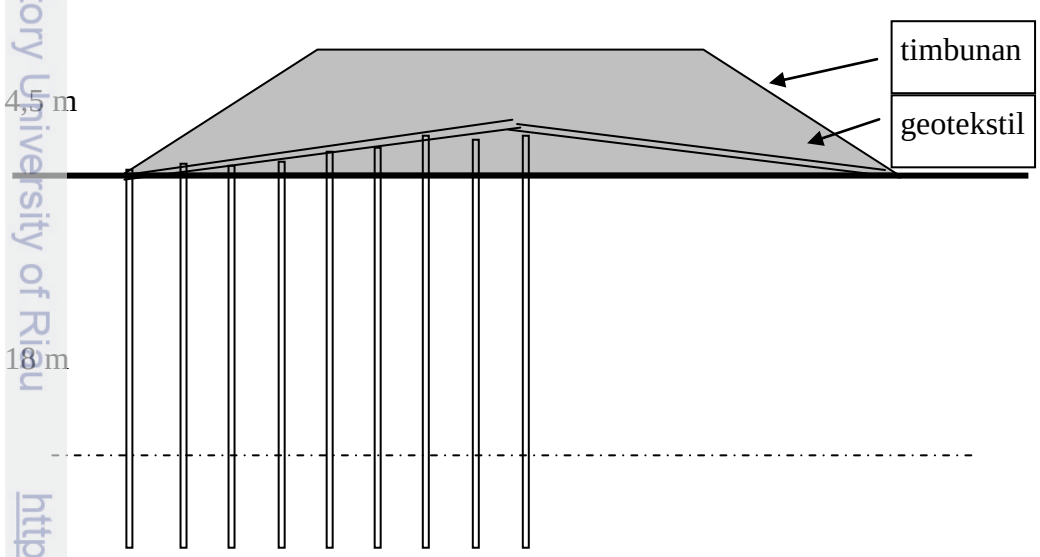
Gambar 7.Bentuk Deformasi Vertikal pada Permukaan Tanah dan Timbunan

Jika ketinggian elevasi timbunan setelah tercapai setelmen yang diinginkan, maka timbunan di sini berfungsi sebagai *surcharge* atau beban timbunan yang sifatnya sementara. Dalam hal ini yang perlu diperhatikan adalah efek pengembangan kembali tanah akibat pelepasan beban (pengurangan tinggi timbunan).

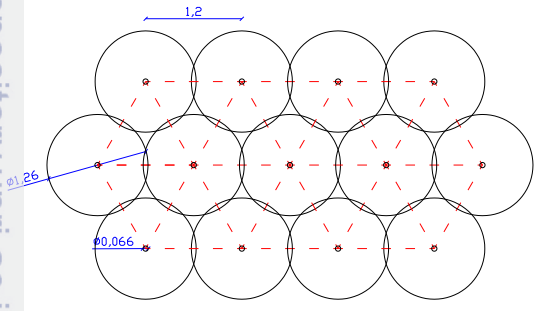
Disain Drainase Vertikal

Perhitungan setelmen awal menjadi dasar dalam pendesaianan drainase vertikal, disamping beberapa tetapan lain yang diinginkan, seperti waktu terjadinya percepatan setelmen yang diinginkan. Dalam hal ini beberapa parameter perhitungan telah ditetapkan untuk mengevaluasi dan menverifikasi desain yang telah direncanakan oleh pihak konsultan, seperti tinggi timbunan, waktu percepatan terjadinya setelmen, dan jenis propertis drainase yang digunakan.

Hasil perhitungan menunjukan bahwa untuk, tinggi timbunan (H) = 4,5 m, waktu percepatan terjadinya setelmen adalah 6 bulan dan tinggi drainase vertikal sebesar 18 m, maka drainase vertikal harus ditanam dengan spasi 1,2 m.



Gambar 7. Penampang drainase vertikal dan timbunan



Gambar 8. Detail desain drainase vertikal

Dari hasil perhitungan waktu terjadinya 80% konsolidasi tanpa menggunakan drainase vertikal yaitu sebesar (rata-rata) 235 bulan, maka percepatan waktu yang dihasilkan dengan menggunakan drainase vertikal ini adalah sebesar 40 kali, suatu angka yang sangat signifikan. Dengan demikian drainase untuk perbaikan *sub-grade* landas pacu di sini sangat efisien dipakai.

Mengingat kedalaman drainase vertikal yang digunakan adalah sebesar 18 m, maka perlu dipertimbangkan bahwa setelmen yang akan terjadi setelah jangka waktu yang direncanakan (6 bulan) tidak akan mencapai 1,7 m. Dengan demikian setelah landas pacu selesai dikonstruksi penurunan tanah masih akan terjadi dalam jangka beberapa tahun ke depan.

Bentuk deformasi di permukaan tanah setelah terjadi setelmen yang diperkirakan digunakan untuk mendesain letak drainase horisontal di permukaan. Hal ini

Repository University of Riau
http://repository.unri.ac.id
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.
© Hak cipta milik Universitas Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Repository Universitas Riau https://repository.unri.ac.id

dimaksudkan agar penurunan yang terjadi tidak akan mengakibatkan sulitnya air mengalir ke luar dari drainase vertikal dan horisontal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal berikut.
Penggunaan drainase vertikal yang dibantu dengan *preloading* sangat efektif digunakan dalam perbaikan sub-grade landas pacu Bandara Tempuling, dimana waktu terjadinya setelmen yang direncanakan dapat dipercepat sebesar 40 kali, dengan desain sebagai berikut.
Kedalaman drainase vertikal = 18 m
Spasi antar drainase = 1,2 m
Tinggi *preloading* = 4,5 m
Beberapa hal perlu diperhatikan sebelum dan sesudah konstruksi landas pacu dilaksanakan, yaitu efek pengurugan tepi preloading yang dapat meruntuhkan timbunan yang sudah ada, dan setelmen yang masih akan terjadi setelah selesainya konstruksi landas pacu.
Perhitungan setelmen yang dilakukan oleh Konsultan memberikan desain yang lebih konservatif, walaupun secara prinsip perhitungan tegangan yang dipakai tidak dapat diterima.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada rekan-rekan di Fakultas Teknik dan kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bowles, 1997, *Analisis dan Desain Pondasi, Jilid I,* Erlangga, Jakarta.

Das, 1993, *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid I,* Erlangga, Jakarta.

Hardiyatmo, 1992, *Mekanika Tanah 1-2,* Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Hausmann, 1990, *Engineering Principles of Ground Modification,* Mc Graw Hill International, UK.

© Hak cipta milik Universitas Riau