



TINGKAT KONSOLIDASI TANAH BERDASARKAN TEKANAN AIR PORI

M. Suherman

RINGKASAN

Konsolidasi merupakan proses hidrodinamik di mana air terdesak dari rongga tanah yang jenuh air. Tanah berbutir halus mempunyai permeabilitas rendah, yakni air tidak dapat keluar dari rongga pori, bila struktur butiran termanipulasi. Bila beban diberikan secara cepat dalam suatu uji pemampatan, maka tegangan pori awal sama dengan besar tahapan beban yang diberikan. Tegangan tambahan akan bermula dengan mengalirnya air pada sekitar contoh, dan tegangan air pori tambahan akan berkurang mendekati nol sesuai dengan termampatkannya ukuran butir. Praktisnya berangsur-angsur proses konsolidasi akan selesai.

Ini sangat menarik untuk para ahli geoteknik, agar dapat meramalkan lamanya waktu yang diperlukan untuk selesainya proses ini di lapangan.

ABSTRAK

Consolidation is the hydrodynamic process by which water is expelled from saturated soil voids. Fingrained soils have a low permeability that water cannot readily escape from the pore space when the grain structure is compressed.

When a load is applied rapidly in a compression test, an initial excess pore water pressure equal to the applied load is generated. This excess pressure will initiate flow of water to the sample boundaries and excess pore water pressure will decrease toward zero as the grain structure compresses. In practice it can generally be predicted that consolidation is complete.

It is of interest to geotechnical engineers to be able to predict the time required for this process to be completed in a field situation.

I. PENDAHULUAN

Dalam pelaksanaan pembuatan jalan di atas tanah kohesif yang bersifat lembek seperti lempung atau lanau, masalah yang sering terjadi di lapangan adalah lamanya proses konsolidasi tanah dasar di bawah timbunan, sehingga setelah pembangunan jalan itu selesai penurunan badan jalan masih terus berlangsung. Lambatnya keluar air pori dari suatu massa tanah dikarenakan sifat tanah kohesif mempunyai kelulusan air yang sangat rendah serta mempunyai ukuran butirnya sangat kecil. Sudah barang tentu dengan adanya penurunan ini akan dapat mengakibatkan kerusakan pada bagian perkerasan, malahan tidak sedikit diikuti dengan amblasan atau longsoran badan jalan.

Salah satu instrumen untuk pengukuran tingkat pencapaian konsolidasi adalah dengan menggunakan apa yang disebut "Piezometer", yaitu suatu alat yang dipakai sebagai pengukur tekanan air pori di lapangan. Dengan adanya data hasil pengukuran tekanan air pori ini, maka besarnya tingkat konsolidasi yang dicapai oleh tanah dasar di bawah timbunan dapat di analisis dari hasil pemantauan fluktuasi muka air yang ada di dalam pipa piezometer. Menentukan besarnya tingkat konsolidasi ini berhubungan erat dengan lamanya waktu pemantauan serta besarnya tegangan yang terjadi di sekitar tip piezometer.

Dari hasil analisis tekanan air pori maka akan ditentukan kondisi persentase konsolidasi sisa yang belum dicapai. Dengan diketahuinya tingkat konsolidasi sisa ini, maka dapat ditentukan besarnya tingkat konsolidasi yang telah terjadi selama pembebanan berlangsung.

II. TEORI KONSOLIDASI

Konsolidasi merupakan pengecilan volume secara perlahan dari tanah jenuh air akibat mengalirnya air pori dari suatu massa tanah. Proses ini akan berlangsung sampai eksese tekanan air pori menjadi stabil oleh penambahan tegangan total. Waktu atau lamanya konsolidasi dan jarak tempuh air pori serta faktor waktu dari derajat konsolidasi.

Lamanya waktu konsolidasi dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$t = T_v \cdot H^2 / C_v$$

di mana :

t = waktu konsolidasi (tahun)

T_v = faktor waktu

H = jarak tempuh air pori (m)

C_v = koefisien konsolidasi (m²/th)

Dari pernyataan di atas maka yang dapat dirobah adalah jarak tempuh air pori (H), sedangkan nilai Tv dan Cv adalah konstanta dari faktor waktu dan hasil laboratorium. Untuk maksud mempercepat konsolidasi maka diupayakan dengan jalan memperpendek jarak tempuh air yaitu memasang media pengalir yang disebut "vertical drain".

2.1. Ekses Tekanan Air Pori

Besarnya ekses tekan air pori terjadi akibat adanya air pori yang masuk ke dalam pipa piezometer disebabkan adanya tekanan tambahan dari beban timbunan. Untuk mendapatkan besarnya ekses tekanan air pori dapat ditentukan dengan persamaan :

$$Pr = p \cdot \gamma_w$$

di mana :

- Pr = tekanan air pori sisa (t/m²)
- p = pertambahan tinggi air pada piezometer (m)
- γ_w = berat isi air (t/m³)

Sedangkan untuk menentukan tekanan vertical tambahan beban dapat ditentukan dari persamaan:

$$\sigma_v = h \cdot \gamma_t \cdot a$$

di mana :

- σ_v = tekanan tambahan (t/m²)
- h = tinggi timbunan (m)
- γ_t = berat isi timbunan (t/m³)
- a = koefisien penyebaran tekanan

Dari kedua persamaan di atas maka dapat dihitung besarnya tingkat konsolidasi sisa (residu), yaitu perbandingan antara tekanan air pori sisa dengan tekanan vertical tambahan.

$$Ur = Pr / \sigma_v$$

Dengan hasil di atas, maka dapat ditentukan tingkat konsolidasi yang telah terjadi, yaitu:

$$U = U100 - Ur$$

di mana :

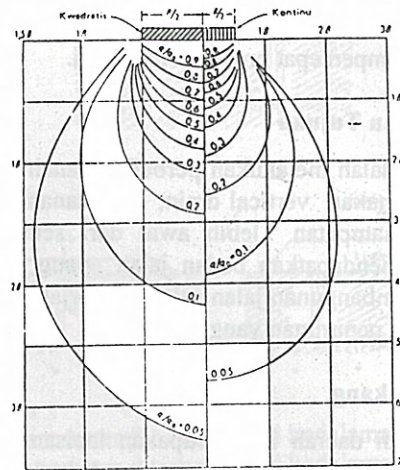
- U = tingkat konsolidasi yang telah dicapai (%)
- U100 = tingkat konsolidasi 100 %
- Ur = tingkat konsolidasi sisa (%)

2.2. Penyebaran Tegangan

Untuk menghitung besarnya tegangan vertical pada tanah dasar, perlu diketahui distribusi tegangan yang terjadi pada lapisan tanah tersebut. Penyebaran tegangan ini diakibatkan adanya beban timbunan yang terletak di atasnya sehingga menimbulkan tekanan tambahan

terhadap tanah yang berada di bawahnya. Besarnya penyebaran tegangan vertical dapat ditentukan berdasarkan teori Boussinesq seperti Gbr. 1.

Gambar 1



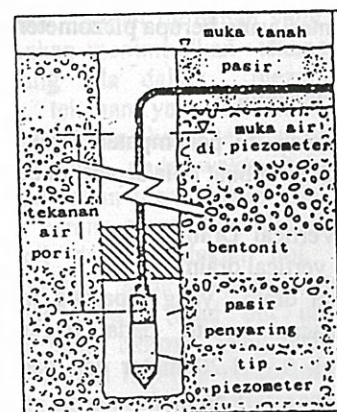
2.3. Piezometer

Piezometer merupakan alat pengukur tekanan air pori di lapangan dengan tip piezometer dimasukan mencapai kedalaman lapisan tanah yang akan diukur tekanan air porinya.

Untuk mendapatkan fluktuasi muka air pipa piezometer diperlukan data pembacaan awal setelah tip piezometer terpasang. Pengukuran ini dilakukan biasanya setiap hari, sampai diperoleh hasil tiga kali pembacaan menunjukkan angka yang relatif tetap. Selain pengukuran awal, juga dilakukan pengukuran berkala yang dilaksanakan pada interval waktu tertentu, yaitu lamanya pengukuran tergantung dari kebutuhan rencana teknis.

Piezometer yang digunakan dalam percobaan ini adalah type pneumatic, dengan cara pemasangan seperti Gbr. 2.

Gambar 2



III. PERCOBAAN TIMBUNAN

Percobaan timbunan dilakukan pada rencana jalan Padalarang - Cileunyi Bandung, yaitu pada lokasi Sta 36+800 sampai dengan Sta 37+070. Pada lokasi ini telah dipasang jute fibre drain secara tegak ke dalam tanah dasar, sebagai metode perbaikan tanah ke lempungan lembek guna mempercepat proses konsolidasi.

3.1. Maksud dan Tujuan

Percobaan ini adalah melakukan perbaikan tanah lembek dengan menggunakan vertical drain, agar tanah lembek mengalami pemampatan lebih awal dari semestinya. Tujuan untuk mendapatkan badan jalan yang mantap, yaitu setelah pembangunan jalan selesai dikerjakan, maka tidak terjadi lagi penurunan yang berarti.

3.2. Latar Belakang

Lapisan tanah di daerah ini merupakan lapisan lembek yang cukup tebal, dengan jenis tanah terdiri dari lanau lempungan mencapai kedalaman -30.00 meter. Sudah dipastikan bahwa apabila timbunan badan jalan berada di atas tanah ini, maka penurunanpun akan tak dapat dihindari dan akan terjadi karena tanah mudah mampat akibat adanya pembebanan.

Yang paling utama mendapat perhatian di sini adalah sifat tanah kohesif mempunyai kelulusan air yang rendah, sehingga sangat lambatnya pengaliran air pori dari dalam suatu massa tanah, dengan kata lain bahwa proses konsolidasi akan makan waktu yang relatif lama. Kecepatan proses konsolidasi tergantung dari besarnya beban yang diberikan dan jarak tempuh air pori di mana air akan melewatinya.

salah satu upaya yang perlu dilakukan agar air pori bisa lebih cepat keluar adalah dengan memperpendek jarak tempuh tanah yang disebut "vertical drain". Dengan adanya media ini maka air pori yang keluar akibat terjadinya konsolidasi akan lebih cepat waktunya karena jarak tempuh air lebih pendek ke arah horisontal.

Untuk menentukan tingkat konsolidasi yang telah dicapai berdasarkan lamanya waktu pembebanan, maka dipasang alat instrumentasi yang berupa piezometer.

3.3. Pola Pemasangan

Dalam percobaan ini penempatan jarak dan kedalaman dari vertical drain dibuat pola seperti di bawah ini :

1. Dengan Vertical Drain.

a. Jarak vertical drain.

Vertical drain yang dipasang mempunyai jarak dua macam, yaitu pada bagian kiri timbunan berjarak $s = 1.20$ meter dan pada bagian kanan berjarak $s = 1.80$ meter.

b. Kedalaman.

Ujung vertical drain dimasukkan mencapai kedalaman :

- Antara Sta 36 + 825 sampai dengan Sta 36 + 855 sampai kedalaman 9.00 meter.
- Antara Sta 36 + 885 sampai dengan Sta 36 + 915 sampai kedalaman 17.00 meter

c. Tinggi Timbunan

Tinggi timbunan yang diletakan di atas perbaikan tanah dasar setinggi $H_t = 4.10$ meter

2. Tanpa vertical drain

Pada lokasi ini tidak dilakukan pemasangan vertical drain, hanya yang berbeda adalah tinggi timbunan.

- Antara Sta 36 + 915 sampai dengan Sta 36 + 985 tinggi timbunan $H_t = 2.40$ meter.

3.4. Instrumentasi

Instrumentasi dipasang untuk tujuan pengambilan data mengenai perilaku tanah dasar akibat adanya pembebanan dari timbunan yang ditempatkan di atasnya.

Adanya peralatan instrumen yang dipasang pada percobaan ini meliputi Piezometer settlement plate dan pipa inclinometer. Tetapi dalam tulisan ini yang dibahas hanyalah hasil pengamatan piezometer saja. Piezometer ini ditempatkan masuk ke dalam tanah dasar yaitu pada lapisan lembek sebagai pengukur tekanan air pori akibat adanya perubahan tegangan dalam tanah dari pengaruh beban timbunan.

Banyak serta kedalaman piezometer pada setiap lokasi percobaan, yaitu pada masing-masing stasion seperti pada tabel di bawah ini.

Stasion (Sta)	Kiri (Ls)	Tengah (Cl)	Kanan (Rs)	Kedalaman (D)
36+840	2 bh	-	2 bh	7m,13m
36+900	2 bh	-	2 bh	7m,13m,21m
36+955	-	2 bh	-	7m,13m

Percobaan ini dilakukan oleh Consultant Amman & Whitney Inc. bekerjasama dengan PT. Wiratman & Ass. Pada tahun 1988.

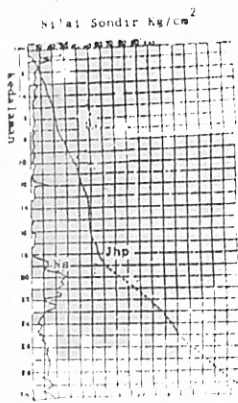
3.5. Data Tanah Dasar

Lapisan tanah yang digunakan dalam percobaan ini merupakan lapisan tanah lanau lempungan berwarna abu-abu sifat lembek sampai medium. Dari hasil pembaron telah didapat susunan lapisan tanah dari atas sampai ke bawah seperti berikut ini.

Kedalaman m MT	Jenis Tanah	Sifat	Kuat geser (cu) Kg/Cm ²
0.00 - 2.00	lanau pasiran	lembek	0.20
2.00 - 8.00	lanau lempungan	lembek	0.07
8.00 - 12.00	pasir lanauan	lepas	0.20
12.00 - 18.00	lanau lempungan	lembek	0.15
18.00 - 22.00	lanau pasiran	lepas	-
22.00 - 30.00	lanau lempungan	medium	-

Dari hasil penyondiran yang dilakukan oleh Puslitbang Jalan menunjukkan lapisan tanah sampai ke kedalaman 30 meter masih merupakan lapisan lembek. Grafik sondir seperti Gambar 3.

Gambar 3



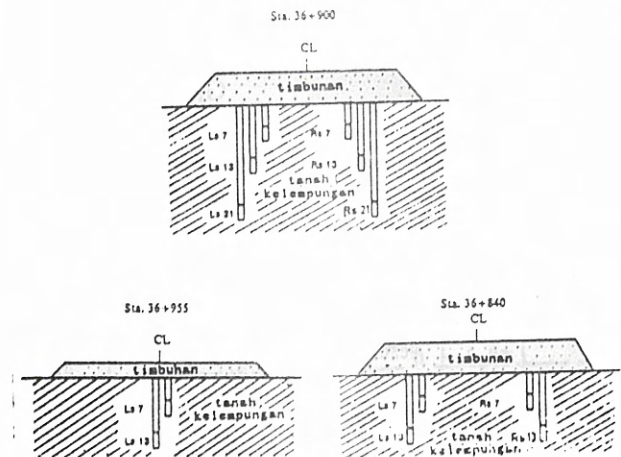
3.6. Penempatan Timbunan

Bahan timbunan terdiri dari tanah lateritis dan di padatkan agar nantinya digunakan sebagai badan jalan tol Padalarang - Cileunyi. Penimbunan dilakukan secara bertahap lapis demi lapis sehingga mencapai tinggi timbunan yang diinginkan.

Penempatan timbunan pada Sta 36+840 dan Sta 36+900 tinggi timbunan $H = 4.10$ m, sedangkan pada Sta 36+955 tinggi timbunan $H = 2.40$ m.

Adapun letak kedalaman piezometer dan tinggi timbunan, seperti Gambar 4.

Gambar 4



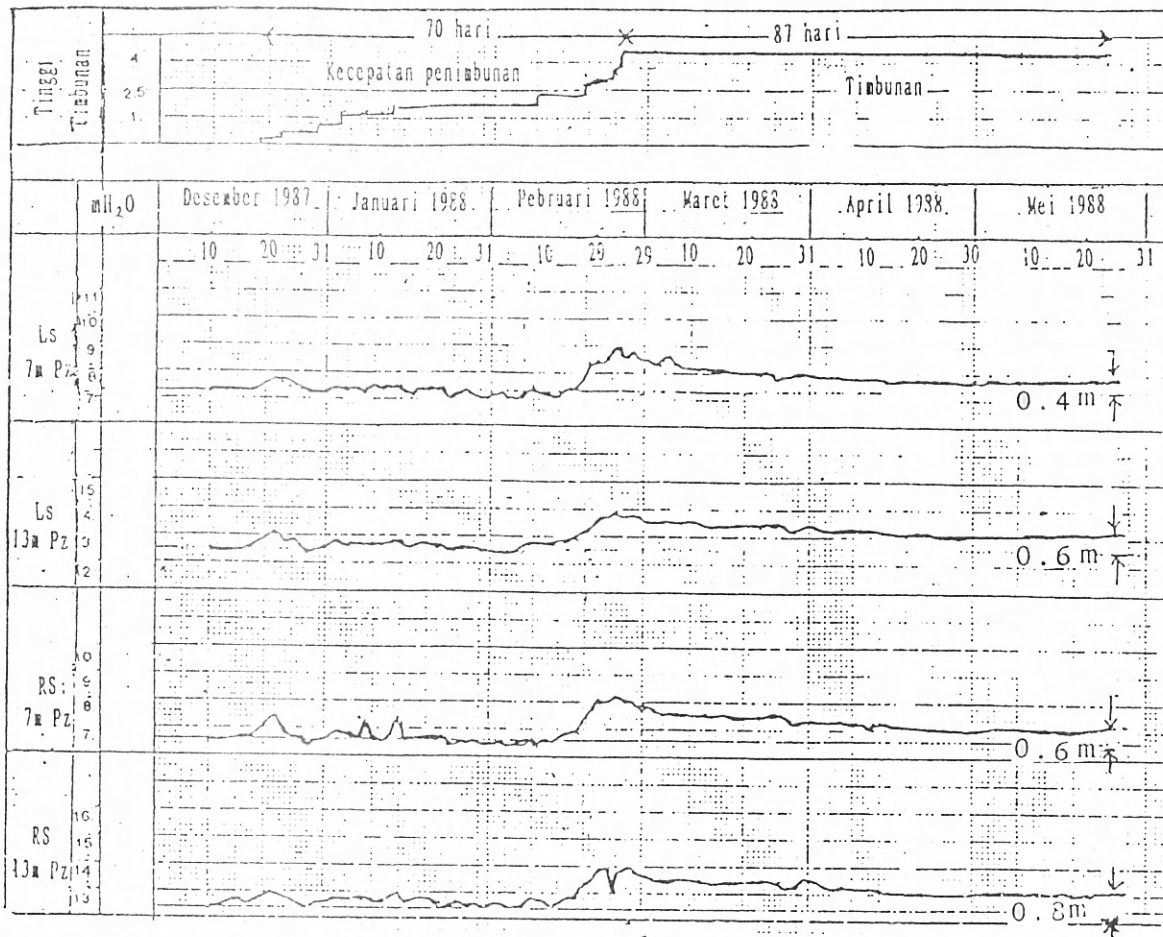
Keterangan :

- Ls7 = piezometer di sebelah kiri kedalaman 7.00 meter
- Ls13 = piezometer di sebelah kiri kedalaman 13.00 meter
- Ls21 = piezometer di sebelah kiri kedalaman 21.00 meter
- Rs7 = piezometer di sebelah kanan kedalaman 7.00 meter
- Rs13 = piezometer di sebelah kanan kedalaman 13.00 meter

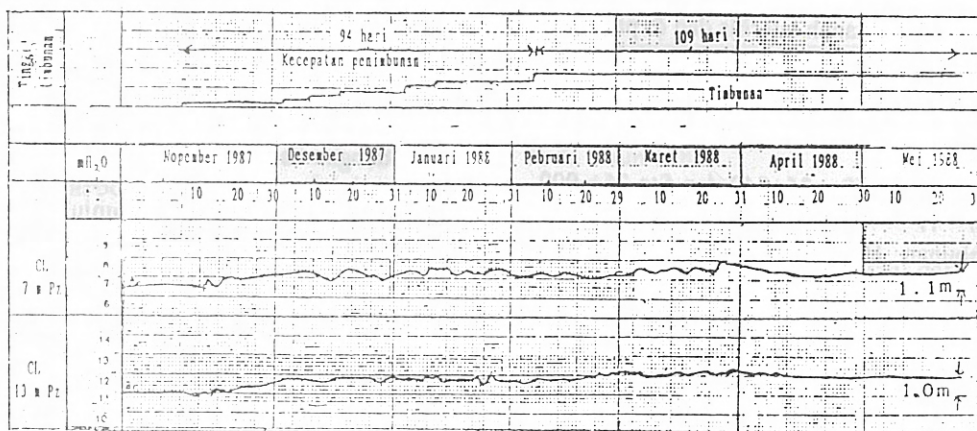
IV. PEMANTAUAN

Pemantauan piezometer dimaksudkan untuk mendapatkan data lapangan mengenai perubahan kenaikan atau penurunan muka air pori dalam tip piezometer akibat mampatnya tanah dasar karena pembebanan. Data ini akan digunakan sebagai dasar analisis dari peningkatan atau derajat konsolidasi yang telah dicapai. Pengamatan piezometer dilakukan dua kali sehari selama pelaksanaan timbunan dan selanjutnya setelah penimbunan selesai, maka pengamatan dilakukan satu kali seminggu, dan berakhir kira-kira mencapai konsolidasi 90%. Pemantauan alat piezometer yang telah terpasang merupakan bagian terpenting dalam percobaan ini karena hasil pengamatan akan menentukan langkah selanjutnya, yaitu baik untuk tahap penambahan penimbunan maupun untuk mengontrol kekuatan tanah di bawah timbunan. Beban timbunan yang diletakan di atas tanah dasar akan menimbulkan tekanan tambahan. Fluktuasi air yang ada dalam piezometer akan menggambarkan tekanan yang diterima oleh tanah sesuai dengan besaran penyebaran tekanan dari timbunan. Tekanan air pori pada waktu beban timbunan diberikan, bermula akan menunjukkan nilai yang tinggi dan lambat laun karena proses konsolidasi maka akan semakin mengecil dan mendekati nol, bila proses konsolidasi telah selesai. Pada waktu pemantauan dengan menggunakan alat baca (read out unit), alat ini ditempatkan pada suatu tempat yang telah disediakan, dimana ujung kabel dari tiap-tiap piezometer berkumpul dapat dihubungkan dengan alat baca tersebut.

GRAFIK PEMBACAAN PIEZOMETER

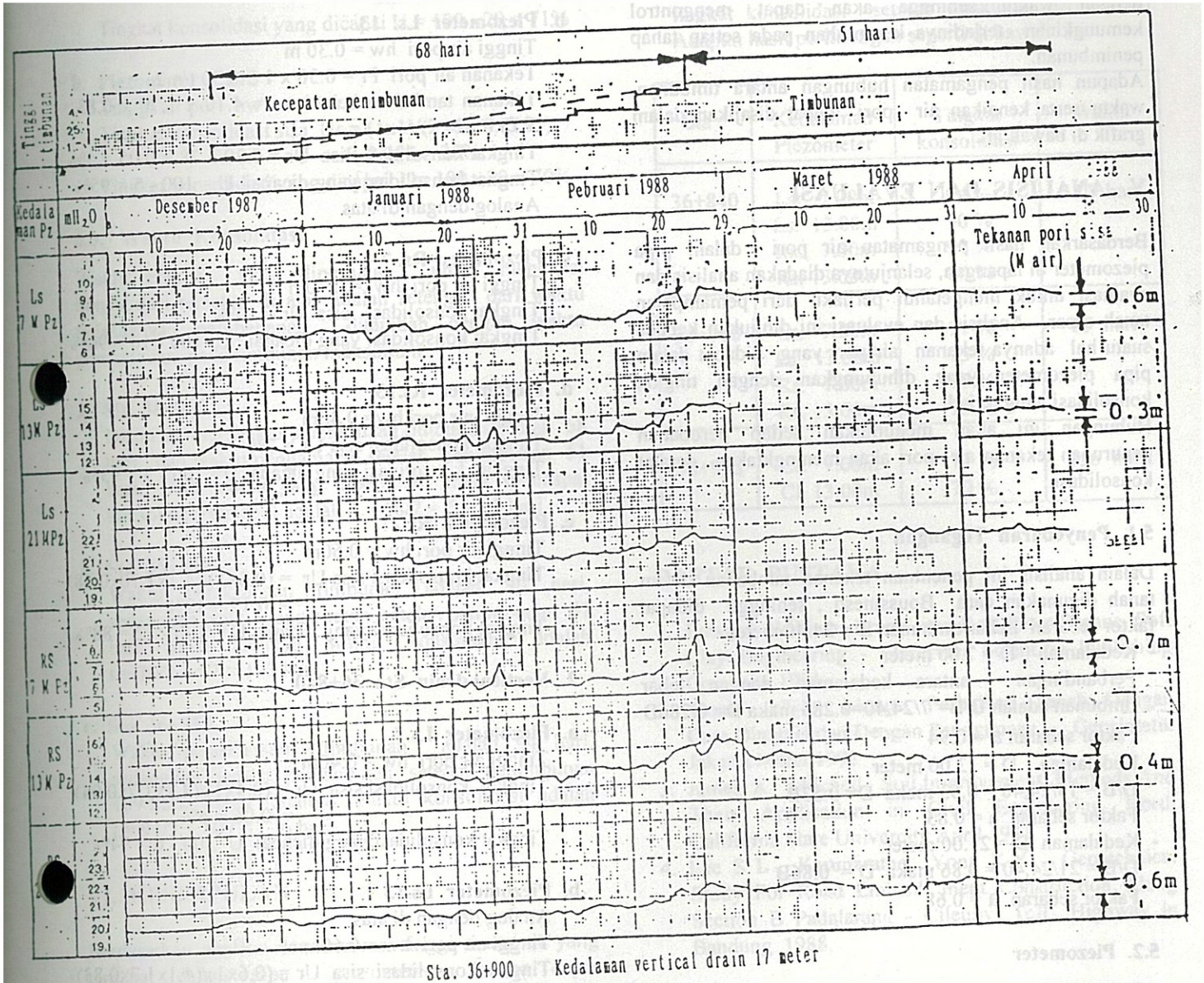


Sta. 36+840 Kedalaman vertical drain 9.00 meter



Sta. 36+955 Tanpa vertical drain

GRAFIK PEMBACAAN PIEZOMETER



Tekanan air pori yang didapat dari hasil pembacaan menunjukkan tingkat pemampatan (konsolidasi) yang dicapai seiring dengan merapatnya butiran tanah sehingga menjadi lebih padat dan terusirnya air dari dalam rongga tanah.

Setiap perubahan tekanan air pori ini yang dikorelasikan dengan waktu sehingga akan dapat mengontrol kemungkinan terjadinya keruntuhan pada setiap tahap penimbunan.

Adapun hasil pengamatan hubungan antara timbunan, waktu serta kenaikan air pori dapat disajikan dalam grafik di bawah ini.

V. ANALISIS DAN EVALUASI

Berdasarkan hasil pengamatan air pori dalam pipa piezometer di lapangan, selanjutnya diadakan analisis dan evaluasi untuk mengetahui perilaku dari pemampatan tanah dasar. Analisis dan evaluasi ini ditujukan kepada suatu hal adanya tekanan air pori yang didapat dalam pipa piezometer yang dihubungkan dengan tingkat konsolidasi yang terjadi.

Hubungan ini akan menunjukkan setiap perubahan penurunan tekanan air pori akan meningkatkan derajat konsolidasi.

5.1. Penyebaran Tegangan

Dalam analisis ini penentuan tekanan tambahan dalam tanah digunakan cara Boussinesq, sehingga didapat faktor sebaran Lebar timbunan $B = 24.40$ meter.

- Kedalaman $D = 7.00$ meter

Perbandingan antara kedalaman dengan lebar timbunan adalah $D/B = 7/24.40 = 0.286$ maka $D = 0.286B$

Faktor sebaran $a = 0.94$

- Kedalaman $D = 13.00$ meter

$D/B = 13/24.40 = 0.53$ maka $D = 0.53B$

Faktor sebaran $a = 0.83$

- Kedalaman $D = 21.00$ meter

$D/B = 21/24.40 = 0.86$ maka $D = 0.86B$

Faktor sebaran $a = 0.68$

5.2. Piezometer

1. Vertical drain pada Sta 36+900

Pada lokasi ini tinggi air pori sisa yang didapat adalah antara $hw = 0.30$ sampai 0.70 meter.

Data Timbunan :

Tinggi timbunan $H_t = 4.10$ meter

Berat isi timbunan $\gamma_t = 1.70$ t/m³

Berat isi air $\gamma_w = 1.00$ t/m³

a. Piezometer Ls 7

Tinggi air pori $hw = 0.60$ m

Tekanan air pori $Pr = hw \times \gamma_w = 0.60 \times 1 = 0.60$ t/m²

Tekanan tambahan beban $\sigma_v = H_t \times \gamma_t \times \alpha = 4.10 \times 1.70 \times 0.94 = 6.55$ t/m²

Tingkat konsolidasi sisa $U_r = Pr/\sigma_v = 0.60/6.55 = 9\%$

Tingkat konsolidasi yang dicapai $U = 100 - U_r$

$U = 100 - 9 = 91\%$

b. Piezometer Ls. 13

Tinggi air pori $hw = 0.30$ m

Tekanan air pori $Pr = 0.30 \times 1 = 0.30$ t/m²

Tekanan tambahan beban $\sigma_v = 4.10 \times 1.70 \times 0.83 = 5.78$ t/m²

Tingkat konsolidasi Sisa $U_r = 0.30/5.78 = 0.05 = 5\%$

Tingkat konsolidasi yang dicapai $U = 100 - 5 = 95\%$

Analog dengan di atas

c. Piezometer Rs. 7

Tinggi air pori $hw = 0.70$ m

Tingkat konsolidasi sisa $U_r = 10\%$

Tingkat konsolidasi yang dicapai $U = 100 - 10 = 90\%$

d. Piezometer Rs.13

Tinggi air pori $hw = 0.40$ m

Tingkat konsolidasi sisa $U_r = 7\%$

Tingkat konsolidasi yang dicapai $U = 100 - 7 = 93\%$

e. Piezometer Rs.21

Tinggi air pori $hw = 0.60$ m

Tingkat konsolidasi sisa $U_r = (0.6 \times 1)/(4.1 \times 1.70 \times 0.68) = 0.12 = 12\%$

Tingkat konsolidasi yang dicapai $U = 100 - 12 = 88\%$

2. Vertical drain Sta 36+840

a. Piezometer Ls.7

Tinggi air pori $hw = 0.40$ m

Tingkat konsolidasi sisa $U_r = (0.4 \times 1)/(4.1 \times 1.7 \times 0.94) = 0.06 = 6\%$

Tingkat konsolidasi yang dicapai $U = 100 - 6 = 94\%$

b. Piezometer Ls.13

Analog dengan di atas

Tinggi air pori $hw = 0.60$ m

Tingkat konsolidasi sisa $U_r = (0.6 \times 1)/(4.1 \times 1.7 \times 0.83) = 0.10 = 10\%$

Tingkat konsolidasi yang dicapai $U = 100 - 10 = 90\%$

Analog dengan di atas

c. Piezometer Rs.7

Tinggi air pori sisa $hw = 0.60$ m

Tingkat konsolidasi yang dicapai $U = 91\%$

d. Piezometer Rs.13

Tinggi air pori sisa $hw = 0.80$ m

Tingkat konsolidasi yang dicapai $U = 86\%$

