



Penanganan rembesan dan perkuatan tanah menggunakan metode insitu test (*pressure meter test*) studi kasus : proyek Bendungan Margatiga

Nora Anggraini^a, Endro Prasetyo Wahono^b, Dyah Indriana Kusumastuti^c

^a Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

^b Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

^c Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

HIGHLIGHTS

- Rembesan yang keluar melalui tubuh bendungan atau pondasi adalah salah satu indikator penting untuk mengetahui kondisi keamanan suatu bendungan.
- Perlu dilakukan investigasi geologi menggunakan metode Insitu Test yaitu PMT (*Pressure Meter Test*) yang diperlukan untuk menentukan tipe penanganan rembesan dan perkuatan tanah.

INFO ARTIKEL

Diterima : 26-09-2024

Direvisi : 16-10-2024

Disetujui : 30-12-2024

Kata kunci:
Bendungan,
pondasi,
batuan,
grouting,
PMT

ABSTRAK

Daya dukung tanah merupakan penopang pondasi, dimana pondasi meneruskan beban-beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri dan beban-beban yang bekerja pada bangunan tersebut ke tanah disekitarnya. Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui penanganan rembesan dan perkuatan tanah yang diperlukan pada studi kasus Proyek Bendungan Margatiga, Lampung Timur. Berdasarkan hasil penyelidikan geologi, Bendungan Margatiga tersusun atas lapisan batuan berumur seperempat dengan komposisi fragmen berupa pasir halus – kerikil, dengan tingkat kekerasan lunak – keras dan perlunya perbaikan pondasi. Berdasarkan kondisi litologi pondasi Pintu Ekstraksi Bendungan Margatiga dan bangunan Spillway yang tersusun dari endapan pasir aluvial yang relatif dalam dan cukup berpori, hal ini menyebabkan hasil grouting tirai tidak efektif, oleh karena itu perlu adanya perubahan desain pengendalian rembesan dari Tirai Grouting ke dinding pembatas. Berdasarkan simulasi pengecekan di Software Plaxis untuk Rembesan dan Staging Penggalian, dilakukan pengolahan menggunakan Secant Pile dan Soldier Pile dengan kedalaman 30 meter dengan bentangan 140 m dan overlapping dengan Grouting Tirai Bendungan Tanggul sebelah kiri. dan sisi kanan 5 m. Hasil PMT di lapangan menunjukkan tegangan maksimum lapisan batuan di bawah pondasi pelimpah adalah 0,016 MPa dan 0,630 MPa.

© 2024 The Author(s). Published by Department of
Civil Engineering, Faculty of Engineering,
University of Lampung

1. Pendahuluan

Menurut Asiyanto (2011) [1] Bendungan atau dam adalah sebuah struktur konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air atau sungai bawah tanah yang pada umumnya akan menjadi waduk atau danau artificial. Bendungan pada umumnya memiliki tujuan utama yaitu untuk menahan air tetapi juga memiliki bagian yang disebut pintu air atau tanggul yang digunakan untuk mengelola, mencegah atau membuang aliran air ke daerah lain, secara bertahap atau berkelanjutan.

* Penulis koresponden

Alamat E-mail: anggraininora16@gmail.com (N.Anggraini).
Peer review dibawah tanggung-jawab Jurusan Teknik Sipil
Universitas Lampung.

DOI: <https://doi.org/10.23960/rekrijts.v28i3.116>

Pembangunan Bendungan Margatiga yang terletak di Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung merupakan satu kesatuan pemanfaatan aliran air sungai Way Sekampung dari hulu hingga hilir sungai yang bersifat bendungan Cascade. Bendungan Cascade merupakan bendungan yang dibangun secara berseri atau bertingkat di sepanjang sungai dengan jarak tertentu, atau secara terasering.

Bendungan Cascade merupakan bendungan yang dibangun secara berseri atau bertingkat di sepanjang sungai dengan jarak tertentu, atau secara terasering. Bendungan Margatiga merupakan bendungan tipe komposit dengan kombinasi bendungan beton gravity dan urugan batu dengan inti tegak. Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang

mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lain diatasnya (Joseph E. Bowles, 1997) [2].

Desain sebuah bendungan harus memenuhi empat kriteria pokok bendungan, yaitu: aman terhadap kegagalan struktur, aman terhadap kegagalan hidraulik, aman terhadap kegagalan akibat rembesan, dan aman terhadap kegagalan operasional dan pemeliharaan. Rembesan yang keluar melalui tubuh bendungan atau pondasi adalah salah satu indikator penting untuk mengetahui kondisi keamanan suatu bendungan. Adanya rembesan menjadi salah satu indikasi dari kegagalan konstruksi bendungan atau pondasi, sehingga perlu mendapatkan perhatian agar tidak terjadi kegagalan konstruksi.

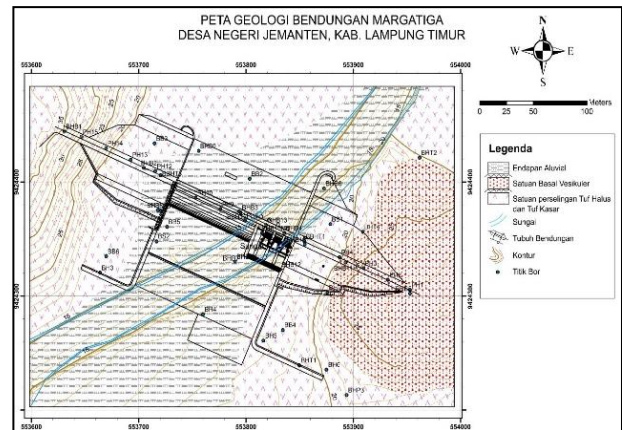
Menurut Frick [3], dalam merencanakan struktur bawah diperlukan data-data mengenai karakteristik tanah tempat struktur tersebut berada dan beban struktur yang bekerja di atas struktur bawah yang direncanakan. Pada lokasi pembangunan bangunan pintu dan pelimpah (*Spillway*) pada trial grouting di titik PH 8, 9, dan 10 mendapat nilai $Lu > 20$ setelah di grouting, sehingga metode grouting dinilai tidak efektif. Hal ini juga didasari oleh lapisan endapan alluvial yang cukup dalam dan sangat porus. Beberapa kondisi yang memerlukan pondasi tiang sebagai sistem pondasi tiang, diantaranya adalah sebagai berikut :

- Lapisan tanah permukaan merupakan lapisan yang sangat kompresibel dan memiliki daya dukung yang rendah
- Struktur atas menerima gaya horizontal yang cukup besar
- Struktur atas menerima gaya tarik atau *uplift*

Pada proyek bendungan ini, hasil penyelidikan tanah PMT 1, PMT 2, dan PMT 3 yang berdekatan dengan lokasi studi digunakan untuk melakukan analisis daya dukung pondasi. Menurut Hardiyatmo HC (2012) [4], klasifikasi tanah sangat membantu perancangan dalam menentukan metode rancangan yang dipergunakan, melalui cara empiris yang tersedia dari hasil-hasil pengalaman terdahulu.

Bendungan Margatiga secara dominan tersusun oleh endapan pasir lepas dan porous, serta batuan tuf halus dan kasar. Dilakukan trial grouting pada area maindam kiri dan kanan sebagai metode pengendalian rembesan. Hasil check hole trial grouting area spillway menunjukkan nilai $Lu > 10$ dan nilai permeabilitas (k) 4×10^{-5} . Kondisi litologi area spillway yg dominan tersusun oleh endapan pasir lepas dan porous menyebabkan grouting tidak efektif dan perlu penanganan lebih lanjut terkait penanganan rembesan.

Dengan kondisi tersebut dilakukan investigasi geologi menggunakan metode Insitu Test yaitu PMT (*Pressure Meter Test*) yang diperlukan untuk menentukan tipe penanganan rembesan dan perkuatan tanah. Uji PMT (*Pressure Meter Test*) adalah uji insitu lubang bor yang dimaksudkan untuk memperoleh parameter deformabilitas bahan tanah (tanah atau batu) seperti modulus elastis (E_m) dan koefisien reaksi tanah dasar (K_m). Sebagai peta dasar, terdapat layout posisi bendungan terhadap mapping geologi regional sebagai berikut.



Gambar 1. Peta Geologi Bendungan Margatiga

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, maka yang menjadi pokok permasalahan adalah :

1. Penggunaan metode Insitu Test yaitu PMT (*Pressure Meter Test*) yang diperlukan untuk menentukan tipe penanganan rembesan dan perkuatan tanah.
2. Diperlukan adanya pengujian struktur geologi ulang untuk mengkonfirmasi kondisi lapisan tanah beserta daya dukungnya
3. Potensi terjadi kegagalan struktur jika tidak dilakukan perkuatan pondasi dan penanganan rembesan.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di proyek Pembangunan Bendungan Margatiga, Kec. Margatiga, Kab Lampung Timur. Berikut lokasi PMT (*Pressure Meter Test*) :

- PMT 1 : Area pintu radial memiliki tekanan maksimal antara 0,016 – 1,2 MPa
- PMT 2 : Area spillway memiliki tekanan maksimal antara 2,5 - 7,4 MPa
- PMT 3 : DPT kanan memiliki tekanan maksimal antara 0,63 – 5,2 MPa.

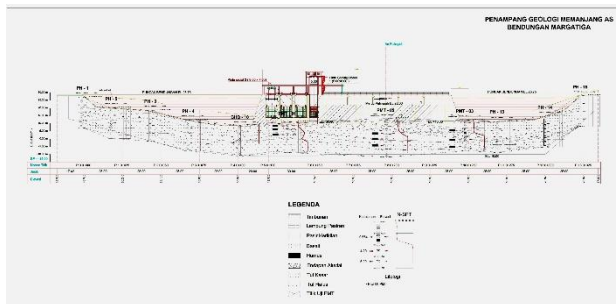
Hasil investigasi penyelidikan menunjukkan kondisi geologi rawan terhadap rembesan. Metode secantpile untuk pengendalian rembesan dipilih karena metode grouting sudah tidak efektif lagi. Berikut lokasi PMT (*Pressure Meter Test*) :



Gambar 2. Lokasi PMT Bendungan Margatiga

2.2 Investigasi Geologi Dari Desain Perencanaan

Investigasi geologi dilakukan untuk memberikan gambaran kondisi geologi suatu area meliputi kondisi geomorfologi, litologi/batuan penyusun dan struktur geologi. Dari hasil pemetaan geologi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa lokasi pekerjaan terbentuk dari 3 satuan batuan yang diurut dari paling muda ke paling tua yaitu : Endapan Aluvial Ditemukan pada sepanjang sungai Way Sekampung yang mendominasi 35% dari daerah pekerjaan, Satuan Basal Vesikuler Ditemukan pada abutmen kiri daerah pekerjaan mendominasi 20 % dari daerah pekerjaan dan satuan perselingan tuf halus dan tuf kasar: Ditemukan pada abutmen kanan dan kiri dari daerah pekerjaan. Mendominasi 45% dari daerah pekerjaan dan merupakan yang paling dominan pada lokasi pekerjaan. Berikut gambar investigasi geologi.



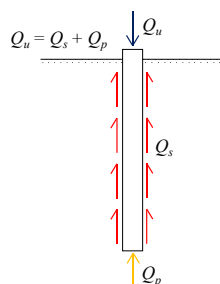
Gambar 3. Investigasi Geologi Bendungan Margatiga

Daya dukung aksial pondasi tiang ultimate (Q_u) merupakan penjumlahan dari daya dukung selimut/friksi (Q_s) dan daya dukung ujung (Q_p). Kapasitas daya dukung kondisi ultimate limit state dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$Q_u = Q_s + Q_p = f_s \cdot A_s + q_b \cdot A_p$$

Dimana :

- f_s = unit tahanan selimut
- q_b = unit tahanan ujung
- A_p = luas penampang ujung tiang
- A_s = luas selimut tiang



Gambar 4. Daya dukung ultimate pondasi tiang

Daya dukung ijin pondasi tiang dalam kondisi *serviceability limit state* (Q_{all}) dapat diperoleh dengan membagi daya dukung ultimate dengan faktor/angka keamanan (SF).

$$Q_{all} = Q_u / SF$$

Faktor keamanan yang digunakan berkisar antara 2,0 dan 4,0 untuk beban servis/operasi. Tomlinson (1977) [5]

AASHTO, dan Canadian Foundation Engineering merekomendasikan faktor keamanan sebesar minimal sebesar 2,5. Daya dukung ijinnya kondisi gempa diambil sebesar 1,5 kali daya dukung ijin kondisi servis. Dengan demikian, faktor keamanan kondisi gempa adalah minimal 1,65.

Untuk memperhitungkan pengaruh stress overlapping ini terhadap daya dukung aksial pondasi tiang, perlu dievaluasi efesiensi pondasi tiang dalam grup (η) menggunakan persamaan di bawah ini (Converse-Labare).

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n_1 - 1)n_2 + (n_2 - 1)n_1}{90n_1n_2} \right] \tan^{-1}(D_p/s)$$

Dimana :

- n_i = jumlah pondasi dalam sebuah baris
- s = jarak antar tiang

Daya dukung ultimate grup (Q_{ug}) dapat diestimasikan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$Q_{ug} = \eta \sum_{i=1}^n Q_{ui}$$

2.3 Pelaksanaan Pengujian PMT (Pressure Meter Test)

Pressure Meter Test digunakan untuk mengetahui modulus elastisitas tanah/batuan serta modulus geser tanah/batuan. Pengujian ini dilakukan dengan memberi tekanan lateral pada tanah melalui lubang bor kemudian merekam perilaku lapisan tanah tersebut apabila diberikan beban lateral. Keuntungan dari modulus geser dan modulus elastisitas dalam pemodelan geoteknik adalah dapat mengetahui seberapa besar deformasi terjadi apabila diberikan suatu beban.

Uji PMT (*Pressure Meter Test*) adalah uji lapangan yang terdiri atas probe silinder panjang yang dikembangkan secara radial di dalam tanah sekelilingnya, dengan menggunakan sejumlah cairan bertekanan pada waktu pemompaan probe. Data dapat diinterpretasi sebagai kurva hubungan tegangan-regangan-kekuatan secara lengkap. Alat *Pressure Meter Test* diperkenalkan oleh seorang ahli Perancis, Louis Menard pada tahun 1955. Pengujian dapat dilakukan dalam zona masa tanah yang lebih luas daripada uji lapangan lainnya.

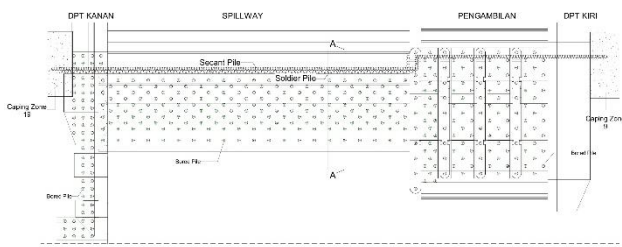
Metode pengujian sesuai dengan ASTM D 4719 [6]. Rongga pressuremeter disiapkan dengan mengebor lubang bor. Diameter lubang bor ukuran nx dengan diameter nominal 76 mm diusulkan untuk pengujian. Tes pressure meter pada dasarnya terdiri dari menempatkan probe silinder tiup dalam lubang yang sudah ditentukan sebelumnya dan memperluas probe ini sambil mengukur perubahan volume dan tekanan dalam probe. Probe digelembungkan di bawah peningkatan tekanan yang sama dan tes diakhiri ketika menghasilkan dalam tanah menjadi besar secara tidak proporsional.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil uji insitu bendungan di PMT-1, PMT-2 dan PMT-3 yang dilakukan dibawah struktur pondasi menunjukkan hasil 0.016 MPa (struktur pintu) dan 0.630 MPa (struktur mercu overflow). Selain itu nilai N-SPT > 50

berada pada kedalaman el -2.15 m, el +1.23 m dan el 0.00 m. Dari hasil pengujian PMT perbaikan pondasi bangunan pelimpah dengan bored pile untuk perbaikan terhadap daya dukung pondasi yang dikombinasi dengan secant pile untuk perbaikan terhadap rembesan. Insitu test (*pressure meter test* dan *standard penetration test*) yang dilaksanakan menunjukkan bahwa kondisi bawah permukaan Bendungan Margatiga tersusun oleh batuan dengan kategori batuan lunak/soft rock dan batuan sangat lunak/*very soft rock*.

Secant pile memiliki struktur pile yang saling overlap antara satu pile dengan pile lainnya. Pekerjaan secant pile dimulai dengan melakukan pengeboran untuk secondary piles, dilanjutkan dengan pengeboran untuk primary piles yang memotong sisi dari secondary piles. Secant pile didesain sebagai bentuk penanganan terhadap rembesan akibat muka air tanah yang tinggi dan kondisi geologi batuan yang loose/lepas serta porous pada lokasi Bendungan Margatiga Bored pile merupakan jenis pondasi dengan elemen beton bertulang yang dimasukkan ke dalam lubang bor. Pondasi dengan bored pile digunakan untuk menopang bangunan yang berada di atas lapisan batuan atau tanah yang tidak cukup kuat, salah satunya seperti batuan pada Bendungan Margatiga. Berikut gambar layout secant pile dan bore pile pada Bendungan Margatiga.



Gambar 5. Layout Secant pile dan Bore Pile Pada Bendungan Margatiga

4. Kesimpulan

Dari hasil pemetaan geologi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa lokasi pekerjaan terbentuk dari 3 satuan batuan yang diurut dari paling muda ke paling tua yaitu : Endapan Aluvial Ditemukan pada sepanjang sungai Way Sekampung yang mendominasi 35% dari daerah pekerjaan, Satuan Basal Vesikuler Ditemukan pada abutmen kiri daerah pekerjaan mendominasi 20 % dari daerah pekerjaan dan satuan perselingan tuf halus dan tuf kasar.

Dari hasil uji insitu bendungan di PMT-1, PMT-2 dan PMT-3 yang dilakukan dibawah struktur pondasi menunjukkan hasil 0.016 MPa (struktur pintu) dan 0.630 MPa (struktur mercu overflow). Selain itu nilai N-SPT > 50 berada pada kedalaman el -2.15 m, el +1.23 m dan el 0.00 m. Dari hasil pengujian PMT perbaikan pondasi bangunan pelimpah dengan *bored pile* untuk perbaikan terhadap daya dukung pondasi yang dikombinasi dengan *secant pile* untuk perbaikan terhadap rembesan.

Daftar Pustaka

[1] Asiyanto. 2011. Metode Konstruksi Bendungan, Penerbit Universitas Indonesia UI Press, Jakarta.

- [2] Bowles, J.E., 1997. Analisa dan Desain Pondasi. Jakarta: Erlangga
- [3] Frick, H. (2001). Ilmu Konstruksi Struktur Bangunan. In P. L. Setiawan. Yogyakarta: Kansius.
- [4] Hardiyatmo, Hary C. 2012. Mekanika Tanah 1, Penerbit Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- [5] Tomlinson. M.J., 2001, Foundation Design and Construction. Prentice Hall. 7th Edition.
- [6] ASTM D 4719 : Standard Test Methods for Prebored Pressuremeter Testing in Soils