

Perhitungan Permeabilitas Tanah dengan Metode Falling Head pada PT Solusi Bangun Indonesia, Plant Tuban

Edo Kharisma Army^{1*}, Natasya Tsabitah²

¹ Kelompok Keilmuan Eksplorasi Sumberdaya Bumi, Program Studi Teknik Pertambangan, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

² Program Sarjana, Program Studi Teknik Pertambangan, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

* Corresponding email: edo.army@ta.itera.ac.id

Riwayat Artikel

Diterima

13/03/2022

Disetujui

17/07/2023

Diterbitkan

31/07/2023

Abstrak

Limbah produksi cair pada PT Solusi Bangun Indonesia selama ini digunakan untuk menyiram tanaman dan beberapa titik di Kawasan perusahaan. Namun hingga saat ini belum pernah dilakukan pengukuran permeabilitas tanah pada titik penyiraman di lokasi. Perhitungan permeabilitas tanah ditujukan untuk mengetahui titik penyiraman yang tepat dan tidak berpotensi merusak lingkungan. Perhitungan permeabilitas tanah penting untuk kajian lingkungan lanjutan, karena air yang tidak terinfiltrasi ke tanah akan menjadi air larian yang merusak permukaan tanah. Metode perhitungan permeabilitas yang digunakan adalah metode *falling head test* dengan pengukuran insitu. Lokasi perhitungan permeabilitas terdiri dari tiga lokasi, area pertambangan (1 titik pengukuran), area pabrik, (4 titik pengukuran), dan area pelabuhan (3 titik pengukuran). Area pertambangan merupakan tanah tipe lempung dengan kategori laju permeabilitas agak cepat. Area pabrik merupakan tanah tipe dominan lempung dengan kategori laju permeabilitas rata-rata area pabrik agak cepat. Area pelabuhan merupakan tanah tipe lempung dengan kategori laju permeabilitas rata-rata sedang. Area pertambangan dan pabrik memiliki nilai permeabilitas lebih besar dan kategori rerata agak cepat merupakan area yang baik untuk dilakukan penyiraman, karena air akan terinfiltrasi dengan baik dan tidak menjadi air larian yang merusak tanah permukaan. Sedangkan area pelabuhan kurang baik karena kemampuannya meloloskan air kategori sedang, sehingga air berpotensi menggenang di permukaan dan merusak permukaan tanah.

Kata Kunci: permeabilitas, *falling head test*, insitu, lempung.

Abstract

The liquid waste from PT Solusi Bangun Indonesia's production has so far been used to water plants and several area. However, there has never been a study of soil permeability at the watering point. Study of soil permeability is important to determine the exact location of watering and not potentially damaging the environment. Permeability measurement is important for further environmental studies, because water that does not infiltrate into the soil will damages soil surface. The method used for permeability measurement is falling head test method with in situ measurements. Permeability measurement were conducted on three areas, quarry area (1 measurement point), factory area (4 measurement points), and jetty area (3 measurement points). Quarry area is clay soil with a rather rapid permeability category. Factory area are clay soils dominants with average permeability category is rather fast up to fast. Jetty area are clay soils with medium permeability category. Quarry and factory area have a greater permeability value and fast average category. It is a good area for watering, because water will be infiltrated well and will not damage the surface soil. While jetty area slightly worse because its permeability value medium, so water could be stagnated and has the possibility of harming the environment.

Keywords: permeability, falling head test, in situ, clay

1. Pendahuluan

Tanah memiliki nilai dalam kemampuan meloloskan air. Tanah dikategorikan menjadi *permeable* dan *impermeable* dalam geoteknik. Permeabilitas adalah sifat yang menyatakan laju pergerakan suatu fluida di dalam tanah melalui suatu media berpori-pori yang berhubungan, makro maupun mikro baik daerah vertikal maupun horizontal [1]. Pentingnya mengetahui karakteristik tanah pada setiap area untuk dapat meloloskan air menjadi dasar kajian lingkungan kedepannya oleh PT SBI.

PT Solusi Bangun Indonesia Tbk (PT SBI) merupakan perusahaan yang dimiliki dan dikelola oleh PT Semen Indonesia Industri Bangunan (SIIB) – bagian dari Semen Indonesia Group. Produk yang dihasilkan oleh PT SBI salah satunya adalah semen. Seluruh proses kegiatan pabrik menghasilkan limbah cair. Limbah cair tersebut kemudian diproses hingga aman untuk lingkungan dan dimanfaatkan untuk menyirami tanaman dan beberapa titik disekitar area perusahaan. Untuk mengetahui manfaat lain penyiraman limbah tersebut, maka perlu dilakukan kajian permeabilitas air tanah di area perusahaan PT SBI. Demi kebaikan lingkungan PT Solusi Bangun Indonesia Tbk harus menyelidiki lingkungan lanjutan agar limbah cair yang sudah diproses dapat dimanfaatkan kembali.

Area penelitian dikelompokkan menjadi tiga, yaitu area pertambangan (1), area pabrik (2), serta area pelabuhan (3). Lingkup penelitian adalah melakukan pengukuran permeabilitas tanah insitu dan pengolahan data serta pengklasifikasian tanah berdasarkan nilai permeabilitasnya.

2. Pengukuran Permeabilitas Insitu (*Falling Head Test*)

2.1. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas adalah sifat yang menyatakan laju pergerakan suatu fluida di dalam tanah melalui suatu media berpori-pori yang berhubungan, makro maupun mikro baik daerah vertikal maupun horizontal [1]. Permeabilitas tanah menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Struktur dan tekstur serta unsur organik lainnya ikut ambil bagian dalam menaikkan laju permeabilitas tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi menaikkan laju infiltrasi dan dengan demikian, menurunkan laju air larian. Air larian inilah yang merusak permukaan tanah.

Tekstur tanah merupakan salah satu sifat fisik tanah, begitu pula permeabilitas. Koefisien permeabilitas terutama bergantung pada ukuran rata-rata pori dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel dan struktur tanah. Secara

garis besar semakin kecil ukuran partikel, semakin kecil pula ukuran pori dan semakin rendah koefisien permeabilitasnya. Berarti suatu lapisan tanah berbutir kasar mengandung butiran-butiran halus memiliki harga koefisien permeabilitas yang lebih rendah dan pada tanah ini koefisien permeabilitas merupakan fungsi angka pori. Tinggi rendahnya permeabilitas ditentukan oleh ukuran pori.

Koefisien permeabilitas (k) untuk macam-macam tanah adalah sebagai berikut (

Tabel 1):

- Pasir : 10-102 cm/detik
- Debu : 102-105 cm/detik
- Lempung : <105 cm/detik

Tabel 1 Pengelompokan nilai konstanta (K) [2], [3]

Peneliti	Karakteristik	K (cm/detik)
Bowles (1991)	Lanau kelempungan	10^{-4} - 10^{-9}
DAS (1995)	Kerikil	>0.1
	Pasir kasar	0.1 - 0.01
	Pasir halus	0.01- 0.001
	Lanau berlempung	0.001- 0.00001
	Lempung	<0.000001

Permeabilitas tanah memiliki lapisan atas dan bawah. Lapisan atas berkisar antara lambat sampai agak cepat (0,20 - 9,46 cm.jam⁻¹), sedangkan di lapisan bawah tergolong agak lambat sampai sedang (1,10 - 3,62 cm.jam⁻¹) [4]. Permeabilitas tanah lapisan bawah lebih lambat dari lapisan atas. Disebabkan oleh pengaruh lapisan tanah, perakaran tanaman, atau pemadatan pedogemesis karena ada penimbunan liat seperti terjadi pada tanah yang mempunyai horizon argilik. Hasil penetapan menunjukkan permeabilitas lapisan tanah atas berkisar lambat sampai agak cepat, sedangkan dilapisan bawah tergolong agak lambat sampai sedang.

Rembesan air dalam tanah hampir selalu berjalan secara linier, yaitu jalan atau garis yang ditempuh merupakan garis dengan bentuk yang teratur (*smooth curva*). Penentuan nilai koefisien rembesan (k) atau koefisien permeabilitas dapat dilakukan melalui pengujian laboratorium maupun pengujian di lapangan (insitu).

2.2. *Falling Head Test* (FHT)

Pengukuran dalam tegangan berubah (*FHT*), yaitu uji permeabilitas dengan tinggi tekan berubah. Untuk *Falling Head Test*, air didalam pipa yang dipasang diatas sampel tanah dibiarkan turun. Volume air yang melewati sampel tanah adalah sama dengan volume air yang hilang didalam pipa. Misalnya pada saat ketinggian air = h , penurunan dh

akan memerlukan waktu dt, dalam rumus Darcy ditulis :

$$dQ = k \times i \times A \ dt \tag{1}$$

$$k = Q/t \times L/\Delta h \times 1/A$$

Ket :

- Q = Debit (m³/s)
- k = Koefisien Permeabilitas (Darcy)
- A = Luas Penampang (m²)
- i = Koefisien hidrolik = Δh/L

Ada beberapa metode pengujian permeabilitas yang telah banyak dikembangkan dan ada tiga metode yang lazim digunakan, yaitu metode pengujian legeon, metode sumur pengujian, dan pengujian pada lubang bor [5].

Pengukuran nilai permeabilitas pada media tanah dapat dilakukan menggunakan pengujian langsung (Gambar 1). Nilai permeabilitas (k) didapat dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Shape Factor (F)

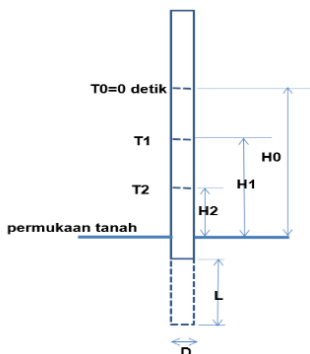
$$F = \frac{(2 \times \pi \times L)}{\ln\left[\frac{2 \times L}{D}\right]} \tag{2}$$

2. Coef of Permeability (k)

$$k = \frac{(0,25 \times \pi \times D^2)}{(F \times (T_1 - T_2)) \times \ln\left[\frac{H_1}{H_2}\right]} \tag{3}$$

Ket :

- L = Tebal lapisan uji
- D = Diameter lubang uji
- H₁ = Tinggi kolom air 1
- H₂ = Tinggi kolom air 2
- T₁ = Waktu tempuh T₀ hingga T₁
- T₂ = Waktu tempuh T₁ hingga T₂



Gambar 1. Metode *Falling Head Test*.

2.3. Pengukuran Permeabilitas Insitu

Permeabilitas tanah secara kuantitatif diartikan sebagai kecepatan Bergeraknya suatu cairan pada suatu media berpori dalam keadaan jenuh. Cairan

yang dimaksud adalah air dan media berpori adalah tanah.

Konduktivitas hidrolik (permeabilitas) tanah didefinisikan oleh Hukum Darcy untuk satu dimensi yaitu aliran secara vertikal. Sifat ini sangat dipengaruhi oleh geometri (ruang) pori dan sifat dari cairan yang mengalir didalamnya. Pengukuran nilai permeabilitas pada media tanah dapat dilakukan dengan dilakukan pengujian langsung dilapangan (insitu).

Pengukuran permeabilitas insitu (Gambar 2) di 8 titik lokasi pengukuran menggunakan metode *falling head test* dan dilakukan pengambilan sampel tanah dengan kelengkapan peralatan terdiri dari:

1. Pipa PVC bening
2. Meteran 5 m
3. *Stopwatch*
4. Jerigen air
5. *Hand Auger*
6. Pipa UDS
7. Lilin



Gambar 2. Pengukuran *Falling Head Test*.

Pengujian *falling head* yang digunakan untuk pengukuran langsung permeabilitas dan pengambilan sampel tanah di lapangan (Gambar 3). Pengukuran dilakukan dengan mengikuti prosedur yang telah ditetapkan sebagai berikut:

1. Tandai lokasi yang akan dilakukan pengambilan sampel dan pengukuran permeabilitas;
2. Langkah selanjutnya area dibersihkan dari rerumputan dan dilakukan pengambilan sampel tanah dengan menggunakan pipa UDS dengan kedalaman 20 – 30 cm;
3. Kemudian lakukan sampling didalam pipa UDS dengan memberikan lapisan lilin di kedua sisi untuk menutup permukaan sampel tanah;
4. Setelah itu dilakukan pengukuran permeabilitas dengan metode *falling head*, memasang pipa PVC bening hingga kedalaman yang telah ditentukan;
5. Pastikan tidak ada celah pada sisi lubang untuk menghindari air keluar ke permukaan;
6. Tuangkan air hingga ketinggian H₀ dan mulai mengukur waktu yang dibutuhkan air untuk meresap kedalam tanah hingga ketinggian air

pada H₁ kemudian catat waktu dan H₂ kemudian catat kembali waktu yang dibutuhkan.



Gambar 3. Pengambilan sampel tanah.

2.4. Pengolahan Data Permeabilitas Tanah

Pengukuran permeabilitas insitu ini dilakukan pada 8 titik yang tersebar di 3 lokasi utama, yaitu area pertambangan, area pabrik, dan area pelabuhan. Data nilai permeabilitas tanah yang didapatkan kemudian dikategorikan berdasarkan kecepatan aliran air permukaan masuk ke dalam pori tanah dengan menggunakan Hukum Darcy (Tabel 2).

Tabel 2 Kategori laju permeabilitas.

No	Laju Permeabilitas (Cm/ Jam)	Kategori
1	< 0,13	Sangat Lambat
2	0,13 – 0,51	Lambat
3	0,51 – 2,00	Agak Lambat
4	2,00 – 6,35	Sedang
5	6,35 – 12,70	Agak Cepat
6	12,70 – 25,40	Cepat
7	> 25,40	Sangat Cepat

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Pengukuran Permeabilitas Tanah Area Pertambangan

Pengukuran permeabilitas di area pertambangan dilakukan pada 1 titik lokasi pengamatan (Gambar 4). Kondisi cuaca saat pengukuran dalam kondisi cerah. Dari hasil pengambilan sampel dan pengukuran permeabilitas tanah yang diukur merupakan tipe tanah lempung.



Gambar 4 Pengukuran Insitu Area Pertambangan

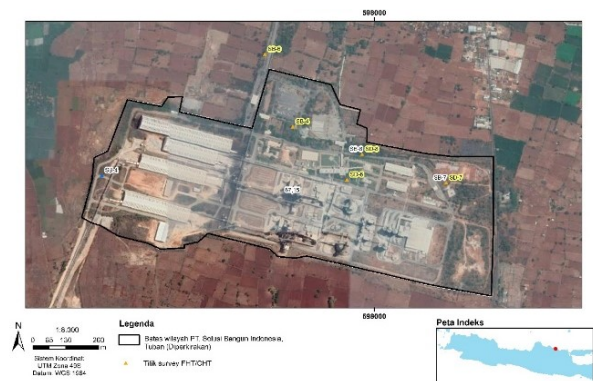
Pengukuran pada titik pengamatan dilakukan sebanyak 2-3 kali pengulangan. Hasil pengukuran permeabilitas dengan menggunakan metode *falling head* menunjukkan material tanah lempung yang terdapat di area pertambangan memiliki laju permeabilitas kategori agak cepat (Tabel 3).

Tabel 3 Hasil pengukuran area pertambangan.

Titik	Tipe Tanah	K (Cm/jam)	Kategori
SD 3	Lempung	10,72087	Agak Cepat

3.2. Pengukuran Permeabilitas Tanah Area Pabrik

Pengukuran permeabilitas di area pabrik dilakukan pada 4 titik lokasi pengamatan (Gambar 5). Kondisi cuaca saat pengukuran dalam kondisi cerah. Pada area sekitar pabrik material tanah terdiri dari tipe tanah lempung, dan lempung dengan fragmen gamping.



Gambar 5. Pengukuran insitu area pabrik.

Pengukuran pada setiap titik dilakukan berulang sebanyak 2-3 kali pengukuran. Dari hasil pengukuran permeabilitas didapatkan material tanah di area pabrik memiliki laju permeabilitas bervariasi dari sedang, agak cepat, dan cepat (Tabel 4).

Tabel 4 Hasil pengukuran area pabrik.

Titik	Tipe Tanah	K (Cm/jam)	Kategori
SD 6	Lempung	11,14424	Agak cepat
SD 7	Lempung	2,56383	Sedang
SD 8	Lempung dengan fragmen gamping	7,47501	Agak cepat
SB 4	Lempung	14,99206	Cepat

3.3. Pengukuran Permeabilitas Tanah Area Pelabuhan

Pengukuran permeabilitas di area pelabuhan dilakukan pada 3 titik lokasi pengamatan (Gambar 6). Kondisi cuaca saat pengukuran dalam kondisi cerah. Pada titik pengukuran material tanah terdiri dari tipe tanah lempung.



Gambar 6 Pengukuran insitu area pelabuhan.

Hasil 2–3 kali pengukuran permeabilitas menggunakan metode *falling head* serta pengujian dalam tiga titik lokasi pada material tanah lempung di area pelabuhan memiliki laju permeabilitas seragam yaitu kategori sedang (Tabel 5).

Tabel 5 Hasil pengukuran area pelabuhan.

Titik	Tipe Tanah	K (Cm/jam)	Kategori
SB 6	Lempung	3,550752827	Sedang
SB 7	Lempung	2,019559003	Sedang
SB 10	Lempung	5,173361293	Sedang

3.4. Diskusi

Hasil pengukuran pada delapan titik menunjukkan bahwa jenis tanah dominan tersusun atas tanah tipe lempung. Namun nilai laju permeabilitas tanah lempung pada setiap area berbeda. Area pertambangan memiliki nilai laju permeabilitas 10,7cm/jam dengan kategori agak cepat. Rata-rata laju permeabilitas empat titik pengukuran di area pabrik adalah 9,04cm/jam dengan kategori agak cepat.

Hal tersebut baik bagi lingkungan area pertambangan dan area pabrik karena air akan terinfiltrasi kedalam tanah sehingga tidak menjadi air larian yang merusak permukaan tanah. Hasil pengukuran tiga titik di area pelabuhan memiliki rata-rata laju permeabilitas 3,58cm/jam dengan kategori sedang. Hal tersebut masih tergolong baik, karena tanah masih dapat meloloskan air, namun area pelabuhan tidak dapat dijadikan lokasi utama titik penyiraman karena memiliki potensi merusak lingkungan akibat air yang menggenang di permukaan.

4. Kesimpulan

Pengukuran laju permeabilitas dilakukan menggunakan metode *falling head test* di lapangan (insitu). Pengukuran insitu dilakukan pada 3 area di perusahaan PT. Solusi Bangun Indonesia, yaitu area pertambangan, area pabrik, serta area pelabuhan. Pada area pertambangan dilakukan pengukuran pada satu titik (SD 3) dengan tipe tanah

lempung dan kategori laju lolosnya air agak cepat. Pengukuran di area pabrik dilakukan di empat titik dengan tipe tanah dominan lempung (SD 6, SD 7, SD 8, SB 4). Hasil pengukuran menunjukkan kategori rata-rata laju permeabilitas agak cepat. Hasil pengukuran pada 3 titik di area pelabuhan dengan tanah tipe lempung menunjukkan kategori laju soil meloloskan air sedang. Berdasarkan hasil tersebut, maka penulis menyarankan penyiraman hanya dilakukan pada area pertambangan dan pabrik. Penyiraman pada area pelabuhan beresiko merusak lingkungan akibat kurangnya kemampuan tanah meloloskan air. Selanjutnya membutuhkan kajian lingkungan lanjut untuk memastikan bahwa air produksi yang disiramkan pada beberapa area di sekitar perusahaan aman bagi lingkungan dan masyarakat.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini bekerjasama dengan PT. Solusi Bangun Indonesia. Peralatan selama observasi lapangan didukung oleh PT. Bhadra Pinggala Sejahtera. Penelitian berkoordinasi dengan kelompok keilmuan Eksplorasi Sumberdaya Bumi, Program Studi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Sumatera.

Daftar Pustaka

- [1] S. G. Djatmiko and P. S. J. Edy, "Mekanika Tanah 1," *Malang: Kaunisius*, 1993.
- [2] J. E. Bowles and J. K. Halmim, "Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, edisi kedua," *Erlangga, Jakarta*, pp. 25–237, 1991.
- [3] B. M. Das and M. Tanah, "Jilid 1 dan Jilid 2," *Penerbit Erlangga, Jakarta*, 1995.
- [4] N. Suharta and dan B. H. Prasetyo, "Susunan mineral dan sifat fisiko-kimia tanah bervegetasi hutan dari batuan sedimen masam di Provinsi Riau," *Jurnal tanah dan iklim*, vol. 28, pp. 1–14, 2008.
- [5] S. Sosrodarsono, "Takeda, 1993," *Hidrologi Untuk Pengairan*, pp. 1–5.