STUDI LITERATUR KORELASI HASIL UJI BERDASARKAN UJI *PLATE BEARING* DAN UJI *DYNAMIC CONE PENETROMETER*

Steven Lius¹, Inda Sumarli², dan Ali Iskandar³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
steven.325160143@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
indasumarli@gmail.com

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
ali.iskandar1999@gmail.com

Masuk: 04-07-2020, revisi: 10-07-2020, diterima untuk diterbitkan: 04-08-2020

ABSTRACT

The subgrade soils must be able to withstand the load that is transferred. The quality of the subgrade soil is important because if it is sturdy, the construction above it can also be sturdy as well. Therefore, in designing a construction, soil investigation, such as plate bearing test and dynamic cone penetrometer test, must be conducted. However, one method may be superior compared to others, that the author will analyze the correlation between them. Plate bearing test is an in-situ test used for determining the ultimate bearing capacity of soil by only applying pressure to it. Whereas, dynamic cone penetrometer test is a testing method to measure the thickness and strength of soil. In this research, the collected data will be analyzed and correlated. The result of correlation between k_s and CBR from DCP test is the determinant coefficient value. The value for clayey soils is 0,6198 which means that the correlation value is strong. Meanwhile, for sandy soils, the values are 0,9841 and 0,9878 which means both of the correlation values are very strong. Furthermore, the correlation of S_u values from both tests cannot be determined because the bearing capacity values haven't reached the ultimate point yet.

Keywords: correlation; plate bearing test; dynamic cone penetrometer test; modulus of subgrade reaction; dynamic cone penetrometer index

ABSTRAK

Lapisan *subgrade* merupakan lapisan yang menahan seluruh beban di atasnya. Kualitas dari lapisan ini sangat penting, karena jika lapisan *subgrade* tersebut kokoh, maka konstruksi di atasnya juga akan kokoh. Oleh karena itu, dalam merencanakan sebuah konstruksi, penyelidikan tanah, seperti uji *plate bearing* dan uji *dynamic cone penetrometer*, di lokasi suatu bangunan yang akan dibangun itu sangat penting. Namun, setiap metode penyelidikan tanah tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, sehingga penulis akan menganalisis korelasi antara kedua pengujian. Uji *plate bearing* merupakan metode pengujian untuk menentukan nilai daya dukung tanah dengan hanya memberikan tekanan pada tanah. Sedangkan, uji *dynamic cone penetrometer* merupakan metode pengujian untuk mengetahui nilai ketebalan dan kekuatan suatu lapisan tanah. Pada penelitian ini, data yang sudah dikumpulkan akan dianalisis dan dikorelasikan. Hasil korelasi antara nilai modulus reaksi tanah dasar dan CBR dari uji DCP untuk jenis tanah lempung menghasilkan koefisien determinan sebesar 0,6198 yang artinya nilai korelasi tersebut kuat. Sedangkan, untuk jenis tanah pasir, didapatkan koefisien determinan sebesar 0,9841 dan 0,9878 yang artinya nilai korelasi tersebut sangat kuat. Kemudian, untuk korelasi nilai kuat geser tanah dari masing-masing pengujian belum bisa dijelaskan karena nilai *bearing capacity* yang diperoleh belum mencapai *ultimate*.

Kata kunci: korelasi; uji *plate bearing*; uji *dynamic cone penetrometer*; modulus reaksi tanah dasar; indeks penetrasi dinamis

1. PENDAHULUAN

Semua jenis konstruksi bangunan, seperti gedung-gedung, jembatan, dan bendungan, terbagi menjadi dua bagian, yaitu struktur bagian atas (*superstructure*) dan struktur bagian bawah (*substructure*) (Kusumah & Hartono, 2018). Salah satu unsur atau bagian terpenting dari konstruksi bangunan tersebut adalah fondasi yang berhubungan langsung dengan tanah. Fondasi merupakan bagian struktur terbawah dari suatu bangunan dan berfungsi untuk menyalurkan semua beban, yang terjadi akibat berat sendiri maupun akibat beban yang direncanakan, dari struktur

bagian atas ke lapisan tanah (Fauzi & Ikhyia, 2016). Ketika menentukan jenis fondasi yang paling cocok untuk sebuah struktur bangunan, seorang insinyur perlu mempertimbangkan beban dari struktur bagian atas, kondisi lapisan tanah, dan penurunan tanah maksimal yang masih bisa ditoleransi (Das, 2010).

Dalam sebuah konstruksi bangunan ataupun konstruksi perkerasan jalan raya, lapisan paling dasar merupakan lapisan tanah dasar (lapisan *subgrade*) yang menahan seluruh beban dari lapisan di atasnya. Kondisi dan kualitas dari lapisan ini sendiri sangatlah penting, karena jika lapisan *subgrade* tersebut kokoh maka konstruksi di atasnya juga akan kokoh dan stabil (Christandy et al, 2017). Oleh karena itu, dalam merencanakan sebuah konstruksi bangunan sipil, pemeriksaan dan penyelidikan tanah, seperti uji *plate bearing* dan uji *dynamic cone penetrometer*, di lokasi suatu bangunan yang akan dibangun itu sangatlah penting.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis dan pembahasan mengenai korelasi atau hubungan dari hasil pengujian *plate bearing* dan *dynamic cone penetrometer*. Selain itu, penelitian ini perlu adanya batasan-batasan agar fokus permasalahan dan tujuan penelitiannya dapat tercapai. Adapun batasan-batasan pada penelitian ini yaitu alat uji yang digunakan adalah uji *plate bearing* dan uji *dynamic cone penetrometer*, data tanah proyek yang digunakan untuk analisis merupakan data yang diperoleh tanpa melakukan pengujian secara langsung, penelitian ini menggunakan data primer (data yang belum pernah dipublikasikan) dan data sekunder (data yang sudah pernah dipublikasikan), menentukan hubungan atau korelasi yang didapat dari hasil pengujian *plate bearing* dan *dynamic cone penetrometer*, korelasi yang dilakukan adalah antara nilai *modulus of subgrade* (k_s) yang didapat dari uji *plate bearing* dan persentase CBR yang dikorelasikan dengan nilai DPI dari uji *dynamic cone penetrometer* dan korelasi lain yang dilakukan adalah membandingkan antara nilai *undrained strength* (S_u) dari *plate bearing test* dan *dynamic cone penetrometer test* yang dimana sampel tanah yang digunakan hanya pada tanah jenis *clay*.

Dari penelitian ini, diharapkan dapat mengetahui adanya hubungan atau korelasi antara nilai *modulus of subgrade* (k_s) yang didapat dari uji *plate bearing* dan persentase CBR yang dikorelasikan dengan nilai DCP dari uji *dynamic cone penetrometer* dan hubungan atau korelasi antara nilai *undrained strength* (S_u) dari *plate bearing test* dan *dynamic cone penetrometer test*.

Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Lapisan tanah dasar (*subgrade*) merupakan lapisan tanah dengan ketebalan 50-100 cm, dimana lapisan tanah ini dapat dibedakan menjadi lapisan tanah dasar berupa tanah asli atau semula, lapisan tanah dasar berupa galian, lapisan tanah dasar berupa timbunan yang dipadatkan dan merupakan lapisan tanah dasar yang digunakan untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Sifat dan daya dukung dari lapisan tanah ini sangat mempengaruhi kekuatan dan keawetan dari konstruksi di atasnya. Oleh karena itu, tanah dasar perlu memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban di atasnya. Selain perlu memiliki kekuatan yang cukup, lapisan tanah dasar juga perlu memiliki stabilitas volume akibat pengaruh lingkungan, terutama air (Sriharyani & Oktami, 2016).

Kapasitas daya dukung fondasi dangkal menurut Terzaghi

Pada Das (2015) dijelaskan bahwa Terzaghi (1943) merupakan orang pertama yang menjelaskan teori untuk menentukan *ultimate bearing capacity* dari sebuah fondasi dangkal. Nilai *ultimate bearing capacity* menurut Terzaghi (1943) dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$q_{ult} = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (1)$$

dengan q_{ult} = daya dukung ultimit, c = kohesi tanah, γ = berat isi tanah, D_f = kedalaman fondasi, B = lebar fondasi dan N_c , N_q , N_γ = faktor daya dukung Terzaghi.

Faktor keamanan (*factor of safety*)

Besar daya dukung izin (q_{all}) dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut.

$$q_{all} = \frac{q_{ult}}{SF} \quad (2)$$

dengan q_{all} = daya dukung izin, q_{ult} = daya dukung ultimit dan SF = faktor keamanan

Plate bearing test (plate loading test)

Plate bearing test atau *plate loading test* merupakan metode pengujian yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah pada lapisan tanah dasar atau *subgrade* hanya dengan memberikan tekanan pada tanah tersebut (Kwandy et al, 2019). Daya dukung tanah yang didapat dari pengujian ini bukan sebuah parameter kekuatan tanah yang sederhana, melainkan nilai daya dukung tanah yang didapatkan bergantung pada distribusi dan besarnya beban, dimensi dan bentuk geometri dari pelat, serta kedalaman *embedment* atau elevasi untuk pengetesan (ASTM International, 1994). Menurut Anyang et al. (2018), *plate bearing test* dilakukan untuk menentukan deformasi

vertikal dan kekuatan dari tanah dengan menganalisis beban dan waktu penetrasi yang dibutuhkan ketika sebuah pelat dimasukkan ke dalam tanah tersebut. Metode ini juga dapat memberikan nilai daya dukung ultimit tanah, kuat geser tanah dan deformasi tanah di bawah pelat. Kemudian, nilai daya dukung dari lapisan tanah yang diuji menggunakan *plate bearing test* akan direkam sampai kedalaman sebesar dua kali ukuran diameter pelat (Abd-Ali, 2013).

Untuk melakukan uji beban pelat, sebuah lubang dibuat dengan lebar minimal sebesar 4B (B adalah diameter dari pelat) dan kedalamannya sebesar D_f (D_f adalah kedalaman fondasi yang direncanakan). Pelatnya akan diposisikan di tengah lubang dan akan dibebani dengan sebuah beban yang beratnya sekitar seperempat sampai seperlima dari beban rencana maksimum melalui sebuah *jack* (dongkrak). Setiap beban pelat ditambahkan, penurunan pelat tersebut akan diamati melalui *dial gauge* (Das, 2015). Pada pengujian *plate bearing*, beban yang disalurkan ke pelat merupakan beban yang sangat besar yang terhubung dengan *hydraulic jack*. Defleksi yang terjadi akibat beban tersebut dapat diukur dengan meletakkan *dial gauges* pada beberapa titik di atas pelat. Umumnya, diameter pelat yang digunakan berukuran 12, 18, 24 dan 30 inci (Rahmawati et al, 2014). Gambar 1 menunjukkan contoh tipikal pemasangan alat *plate loading test*.

Gambar 1. Tipikal pemasangan *plate loading test* (Sumber: ASTM International, 1994)

Pengujian akan dilanjutkan sampai beban maksimum tercapai atau rasio antara beban tambahan dan penurunannya mencapai nilai minimum dan stabil. Apabila beban yang disediakan lebih dari cukup, pengujian dapat dilanjutkan sampai *total settlement* mencapai setidaknya 10% dari diameter pelat, kecuali apabila *failure* terjadi. Setelah penambahan beban yang terakhir sudah diamati, angkat beban yang sudah dipasang tiap sepertiga beban total. Amati *rebound (elastic) settlement* akibat beban yang diangkat sampai deformasinya tidak muncul lagi (ASTM International, 1994).

Modulus reaksi *subgrade* (k_s)

Modulus reaksi *subgrade* (k_s) merupakan hubungan konseptual antara tegangan tanah dengan penurunan yang terjadi, sehingga untuk menentukan nilai *modulus of subgrade*, dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$k_s = \frac{q}{\delta} \quad (3)$$

dengan k_s = modulus reaksi *subgrade*, q = tegangan tanah dan δ = penurunan tanah.

Dynamic cone penetrometer test

Dynamic cone penetrometer (DCP) merupakan sebuah alat uji yang dapat digunakan untuk menentukan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) dan modulus elastisitas lapisan tanah (E) (Mohammadi et al, 2012). Pengujian ini juga dilakukan untuk menentukan kekuatan dari suatu lapisan tanah, sehingga perlu untuk mengetahui jumlah energi yang dikeluarkan dan kedalaman penetrasi dari alat uji ini. Kekuatan dari tanah dapat ditentukan dari pengukuran nilai penetrasi (biasanya dalam milimeter atau inci) ujung konus masuk ke dalam tanah akibat tumbukan *hammer*.

Nilai tersebut dapat disebut sebagai *Dynamic Penetration Index* (DPI). *Dynamic cone penetrometer* terdiri dari dua batang baja berdiameter 16 mm yang dibawahnya tersambung sebuah konus baja yang memiliki sudut sebesar 30° atau 60°. Sebuah penumbuk (*sliding hammer*) yang ditempatkan di batang atas dengan berat sebesar 8 kg akan menumbuk konus yang berada di batang bawah dengan tinggi jatuhnya sepanjang 575 mm. Mistar berskala akan dipasang sebagai alat ukur untuk mengukur kedalaman penetrasi dari konus yang ditumbuk. Diameter konus yang digunakan sedikit lebih besar dibandingkan diameter dari batangnya untuk memastikan ketahanan konus ketika penetrasi terjadi (Dirriba, 2017). Gambar 2 menunjukkan alat uji *dynamic cone penetrometer*.

Gambar 2. *Dynamic cone penetrometer* (DCP) (Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

Dynamic Penetration Index (DPI)

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai DPI, yaitu.

$$DPI = \frac{P_{i+1} - P_i}{N_{i+1} - N_i} \quad (4)$$

dengan DPI = indeks penetrasi *dynamic cone penetrometer*, P = kedalaman penetrasi pada saat i atau i + 1 dan N = jumlah pukulan pada saat i atau i + 1.

Average dynamic cone penetration index

Analisis data *dynamic cone penetrometer* perlu dilakukan agar dapat menghasilkan nilai DPI yang dapat mewakili material yang diuji. Nilai tersebut dapat ditentukan dengan cara merata-ratakan nilai DPI sebanyak kedalaman penetrasi di tiap titik uji (Mohammadi et al, 2008). Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai tersebut, yaitu.

$$DPI_{avg} = \frac{\sum_i^N (DPI)}{N} \quad (5)$$

dengan DPI_{avg} = average DPI, DPI = indeks penetrasi, N = banyak nilai DPI yang tercatat, H = kedalaman penetrasi secara keseluruhan dan Z = jarak penetrasi setiap *set* tumbukan.

Shear strength

Kekuatan tanah merupakan ketahanan terhadap deformasi yang terbentuk dari suatu kombinasi partikel yang berguling, bergeser dan remuk oleh setiap tekanan pori berlebih yang terjadi selama pergerakan partikel. Ketahanan terhadap deformasi ini ialah kekuatan geser tanah yang merupakan kemampuan tanah melawan tegangan geser yang timbul di dalam tanah (Bowles, 1997). Berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan nilai kuat geser tanah, yaitu sebagai berikut.

$$s = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (6)$$

dengan s = kuat geser tanah, c = kohesi tanah, σ = tegangan normal pada bidang runtuh dan ϕ = sudut geser dalam.

Das (2015) menjelaskan bahwa *shear strength* dapat ditentukan dengan uji laboratorium dengan menggunakan sampel tanah asli (*undisturbed*), dimana tanah tersebut akan diambil sampelnya dengan hati-hati agar tidak berubah kondisi kadar air maupun susunan butirannya. Beberapa uji laboratorium yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah adalah *direct shear test*, *triaxial test* dan *unconfined compression test*. Sedangkan, *triaxial test* untuk tanah lempung dapat dibagi lagi menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu *consolidated-drained test (CD test)*, *consolidated-undrained test (CU test)* dan *unconsolidated-undrained test (UU test)*.

Unconsolidated-undrained test (UU test)

Pada pengujian ini, sampel tanah akan dibebani dengan *chamber stress* (σ_3) dan tegangan deviator ($\Delta\sigma$) sampai sampel tanah mencapai keruntuhan. Pada saat pemberian *chamber stress* dan tegangan deviator, tidak diizinkan untuk dilakukan drainase atau dengan kata lain katup drainase ditutup selama pengujian. Akibat tidak diizinkan untuk dilakukan drainase, kelebihan tekanan air pori muncul dengan tidak ada tahanan geser hasil perlawanan dari butiran tanahnya. Nilai kuat geser pada pengujian ini sangat kecil, karena nilai sudut geser dalam (ϕ) menjadi 0 (nol) dan yang ada hanya nilai kohesi (c) saja (Das, 2015). Bentuk lingkaran *Mohr-coulomb* untuk pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. *Mohr-coulomb's circle* pada *unconsolidated-undrained test* (Sumber: Das, 2015)

Unconfined compression test

Unconfined compression test merupakan jenis khusus dari *unconsolidated-undrained triaxial test*, yang dimana *confining pressure* (σ_3) adalah 0 (nol). Pada pengujian ini, untuk mencapai keruntuhan, sampel tanah hanya diberikan tegangan aksial ($\Delta\sigma$) saja. Persamaan *shear strength* untuk jenis tanah lempung jenuh adalah sebagai berikut.

$$s_u = c_u = \frac{q_u}{2} \quad (7)$$

dengan s_u = *undrained shear strength* dan q_u = *unconfined compressive strength*. Bentuk lingkaran *Mohr-coulomb* untuk pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. *Mohr-coulomb's circle* pada *unconfined compression test* (Sumber: Das, 2015)

Korelasi/hubungan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) dan *Dynamic Penetration Index* (DPI)

Banyak studi literatur dan penelitian di berbagai negara yang fokus untuk menciptakan korelasi atau hubungan antara nilai *Dynamic Penetration Index* (DPI) dan nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Salah satu korelasi yang dibentuk oleh Kementerian Pekerjaan Umum dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. Hubungan antara *Dynamic Penetration Index* dan *California Bearing Ratio* (Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

Korelasi/hubungan nilai *Dynamic Penetration Index* (DPI) dan *Unconfined Compressive Strength* (UCS)

Alshkane et al (2020) memaparkan persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan nilai UCS atau (q_u) dari nilai DPI.

$$UCS = 3,1237 \times (DPI)^{-0,865} \quad (8)$$

dengan UCS = *unconfined compressive strength* dan DPI = *dynamic penetration index*.

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian

Jenis penelitian dalam penelitian ini adalah studi literatur dan penelitian korelasional. Studi literatur merupakan tahapan awal dari pengerjaan penelitian ini, yang dimana akan dijadikan sebuah dasar dalam mengkaji suatu pokok bahasan, data pendukung dan dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya. Kemudian, penelitian korelasional merupakan tahapan selanjutnya pada penelitian ini, yang dimana pada penelitian ini hipotesanya akan membuktikan ada atau tidaknya hubungan antara variabel-variabel yang diuji.

Metode pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi-informasi yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini. Metode yang digunakan dalam pengumpulan data merupakan data atau laporan hasil uji lapangan pada *plate bearing test* dan *dynamic cone penetrometer*. Data yang digunakan pada *plate bearing test* adalah tegangan yang diterima oleh tanah dan penurunan tanah tersebut setelah diberi beban. Kemudian, untuk *dynamic cone penetrometer*, data yang digunakan adalah *dynamic penetration index* (DPI).

Metode pengolahan data

Analisis dan perhitungan dilakukan secara manual dengan bantuan program *Microsoft Excel* untuk memudahkan dalam mengolah data. Studi literatur, seperti mencari dasar-dasar teori dari buku referensi, jurnal penelitian ataupun studi kasus, diperlukan oleh penulis sebelum melakukan analisis data. Melalui studi literatur, penulis dapat

memperoleh informasi seperti rumus-rumus yang dibutuhkan untuk menghitung nilai modulus reaksi *subgrade*, metode pelaksanaan *plate bearing test* *dynamic cone penetrometer* dan sebagainya.

Metode analisis data

Analisis data akan dilakukan menggunakan *Microsoft Excel* setelah variabel atau parameter yang dibutuhkan sudah lengkap. Modulus reaksi *subgrade* dari *plate bearing test* dan nilai CBR dari *dynamic cone penetrometer* akan dikorelasikan untuk menentukan hubungan antara kedua variabel hingga memperoleh sebuah persamaan. Kemudian, nilai *undrained shear strength* dari *plate bearing test* dan *dynamic cone penetrometer* akan dibandingkan juga.

Diagram alir

Diagram alir metode penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian

Pada penelitian ini digunakan 3 data primer dan 2 data sekunder dari data hasil uji *plate bearing* dan hasil uji *dynamic cone penetrometer*. Data primer sendiri merupakan data yang belum pernah dipublikasikan, sedangkan data sekunder merupakan data yang sudah pernah dipublikasikan. Data tanah proyek yang digunakan pada penelitian ini merupakan data yang diperoleh tanpa melakukan pengujian secara langsung. Data primer yang diperoleh berasal dari data proyek di Jakarta Utara, Bekasi dan Jakarta Pusat. Kemudian, data sekunder yang diperoleh berasal dari hasil penelitian di Gedung Gelanggang Olahraga (GOR) Kabupaten Sekadau, Kalimantan Barat (Mardianus et al, 2020) dan hasil penelitian oleh *Louisiana Transportation Research Center* di Amerika Serikat (Abu-Farsakh, 2004). Data-data yang diperoleh akan dibandingkan nilainya atau dikorelasikan sehingga membentuk sebuah grafik yang akan diregresi untuk mendapatkan sebuah persamaan atau hubungan antara variabel-variabel yang digunakan.

Jenis tanah pada masing-masing data yang digunakan untuk penelitian ini adalah tanah jenis lempung dan pasir. Untuk data proyek di Jakarta Utara dan Bekasi, jenis tanah yang diuji adalah tanah lempung. Kemudian, untuk data proyek di Jakarta Pusat dan data hasil penelitian di Gedung Gelanggang Olahraga (GOR) Kabupaten Sekadau,

Kalimantan Barat menguji tanah jenis pasir. Dan untuk data hasil penelitian oleh *Louisiana Transportation Research Center* di Amerika Serikat, sampel tanah yang diuji adalah lempung dan berpasir.

Pada pengujian *plate bearing*, data atau variabel yang dibutuhkan untuk analisis adalah tegangan tanah dan penurunan yang masing-masing diakibatkan oleh beban pelat. Sedangkan, untuk uji *dynamic cone penetrometer*, data yang diperoleh merupakan *dynamic penetration index* beserta kedalamannya.

Diameter pelat yang digunakan pada setiap pengujian berbeda-beda tergantung pada kebutuhan. Pada ASTM D1194-94 (1994) dijelaskan bahwa ukuran diameter yang biasanya digunakan untuk uji *plate bearing* adalah 305-762 mm (12-30 inci). Ukuran diameter pelat yang digunakan pada masing-masing proyek atau penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Diameter pelat yang digunakan

Sumber	Diameter Pelat (mm)
Proyek di Jakarta Utara	760
Proyek di Bekasi	400
Proyek di Jakarta Pusat	300
Penelitian di Kalimantan Barat	254
Penelitian di Amerika Serikat	254

Analisis data *plate bearing test*

Setiap hasil uji *plate bearing* perlu untuk dianalisis dengan membuat diagram regangan tanah dan penurunan secara aritmatika dan logaritmik. Kedua diagram tersebut dibuat tujuannya agar dapat menentukan nilai *modulus of subgrade reaction* (k_s) yang selama proses untuk menentukan nilai tersebut, variabel lain seperti *ultimate bearing capacity* (q_{ult}), *allowable bearing capacity* (q_{all}) dan *yield bearing capacity* (q_{yield}) juga dapat diperoleh.

Pertama-tama yang perlu dilakukan adalah mem-plot nilai *soil pressure* dan *settlement* dalam bentuk diagram aritmatika dan logaritmik. Contoh bentuk diagram aritmatika dan logaritmik dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Setelah itu, dapat dibuat dua garis singgung di awal dan akhir, dimana dua garis tersebut akan ditarik sepanjang mungkin sampai berpotong satu sama lain sehingga ditemukan *yield bearing capacity* (q_{yield}). Jadi, nilai *yield bearing capacity* tersebut ditentukan dari transisi antara kondisi elastis dan plastis dari diagram *load-settlement*. Kemudian, nilai *allowable bearing capacity* (q_{all}) dapat ditentukan dengan mengoreksi nilai *yield bearing capacity* (q_{yield}) dengan nilai *factor of safety*, yaitu sebesar 2 (dua). Setelah nilai *allowable bearing capacity* (q_{all}) sudah didapatkan, cari nilai tegangan sebesar q_{all} pada diagram sebelumnya dan tarik garis sehingga nilai *settlement* saat kondisi *allowable* dapat ditentukan.

Gambar 7. Diagram aritmatika *load-settlement* proyek di Jakarta Utara

Gambar 8. Diagram logaritmik *load-settlement* proyek di Jakarta Utara

Data hasil uji *plate bearing* pada proyek ini dapat dibuat garis perpotongan pada diagram aritmatika saja. Namun, diagram logaritmik pada proyek ini tidak bisa dibuat garis perpotongan karena titik perpotongannya tidak terlihat dengan jelas sehingga sulit untuk menentukan titiknya. Nilai *yield bearing capacity* pada masing-masing diagram yang diambil adalah 11,5 ton/m² untuk diagram aritmatika dan 24,21 ton/m² untuk diagram logaritmik. Diantara kedua nilai tersebut, nilai yang diambil adalah yang terkecil, yaitu sebesar 11,5 ton/m². Kemudian, dapat ditentukan nilai *allowable bearing capacity* (q_{all}).

$$q_{all} = \frac{q_{yield}}{SF} = \frac{11,5}{2} = 5,75 \text{ ton/m}^2 = 57,5 \text{ kN/m}^2$$

Setelah itu, tegangan izin yang didapat diplot kembali ke diagram *load-settlement* untuk menentukan nilai *settlement* pada kondisi izin yang dapat dilihat pada Gambar 7 dalam bentuk garis merah. Nilai *settlement* yang didapat adalah sebesar 2,25 mm. Kemudian, nilai *modulus of subgrade reaction* (k_s) dapat ditentukan.

$$k_s = \frac{q}{\delta} = \frac{57,5}{2,25 \times 0,001} = 25555,56 \text{ kN/m}^3$$

Nilai *modulus of elasticity* dapat ditentukan dengan menggunakan nilai *Poisson's ratio* sebesar 0,5, sehingga nilainya adalah sebesar

$$E_s = k_s \cdot B \cdot (1 - \mu_s^2) \\ = 25555,56 \times (76 \times 0,01) \times (1 - 0,5^2) = 14566,67 \text{ kN/m}^2$$

Pada kasus ini, *ultimate bearing capacity* (q_{ult}) tidak dapat ditentukan karena sampel tanah yang diuji belum mencapai kondisi fraktur atau *settlement*-nya belum mencapai 10% dari diameter pelat (Tabel 2).

Tabel 2. Tabulasi hasil analisis data *plate bearing test*

Sumber	Variabel	Nilai
Proyek di Bekasi (Titik 1)	q_{yield}	18,32 ton/m ²
	q_{all}	9,6 ton/m ²
	Settlement at q_{all}	0,68 mm
	k_s	134705,88 kN/m ³
	E_s	40411,76 kN/m ²

Lanjutan Tabel 2. Tabulasi hasil analisis data *plate bearing test*

Proyek	Variabel	Nilai
Proyek di Bekasi (Titik 2)	q_{yield}	18,32 ton/m ²
	q_{all}	9,16 ton/m ²
	Settlement at q_{all}	0,80 mm
	k_s	114500,00 kN/m ³
	E_s	34350,00 kN/m ²
Proyek di Bekasi (Titik 3)	q_{yield}	18,32 ton/m ²
	q_{all}	9,16 ton/m ²
	Settlement at q_{all}	0,41 mm
	k_s	223414,63 kN/m ³
	E_s	67024,39 kN/m ²
Proyek di Jakarta Pusat	q_{yield}	43,0 ton/m ²
	q_{all}	21,5 ton/m ²
	Settlement at q_{all}	4,30 mm
	k_s	50000,00 kN/m ³
	E_s	13650,00 kN/m ²
Proyek di Kalimantan Barat (Titik 1)	q_{yield}	40,5 ton/m ²
	q_{all}	20,25 ton/m ²
	Settlement at q_{all}	3,60 mm
	k_s	56250,00 kN/m ³

Untuk penelitian di Kalimantan Barat, hasil perhitungan *modulus of subgrade reaction* (k_s) yang dihitung oleh peneliti dan penelitian asli, terdapat perbedaan sebesar $\pm 3,2$ kali. Nilai k_s yang didapat oleh penulis adalah sebesar 56250,00 kN/m³, sedangkan nilai k_s yang didapat oleh penelitian asli adalah sebesar 17583,00 kN/m³ untuk Titik 1. Sehingga, penulis memutuskan untuk menggunakan hasil perhitungan penulis sendiri dengan catatan mengalikan perbedaan tersebut ke semua titik (lihat Tabel 3 dan Tabel 4).

Tabel 3. Nilai k_s penelitian di Kalimantan Barat

Titik	k_s (kN/m ³)	Titik	k_s (kN/m ³)
Titik 1	56250,00	Titik 6	37500,00
Titik 2	54081,00	Titik 7	120241,85
Titik 3	57155,35	Titik 8	42669,77
Titik 4	73749,15	Titik 9	52545,43
Titik 5	66375,19	Titik 10	39723,38

Tabel 4. Nilai k_s penelitian di *Louisiana Transportation Research Center*

Tanah	k_s (kN/m ³)	Tanah	k_s (kN/m ³)
Clay 1	752755,91	Clay 7	457217,85
Clay 2	395275,59	Clay 8	208398,95
Clay 3	213123,36	Clay 9	481889,76
Clay 4	329133,86	Sand 1	162671,97
Clay 5	220997,38	Sand 2	142770,62
Clay 6	1197375,33	Sand 3	232759,37

Analisis data *dynamic cone penetrometer*

Selain hasil uji *plate bearing*, uji *dynamic cone penetrometer* perlu juga untuk dianalisis dengan cara menentukan nilai rata-rata dari *dynamic penetration index*. Tabel 5 merupakan tabulasi hasil analisis data *dynamic cone penetrometer*.

Tabel 5. Analisis data *dynamic cone penetrometer*

Sumber	Kode	DPI _{avg} (mm/blow)
Proyek di Jakarta Utara	-	50
	Titik 1	65,50
Proyek di Bekasi	Titik 2	80,65
	Titik 3	55,35
Proyek di Jakarta Pusat	-	25,60

Korelasi/hubungan nilai *modulus of subgrade reaction* dan CBR DCP

Sebelum dilakukan korelasi antara nilai *modulus of subgrade reaction* (k_s) dan persentase CBR, nilai CBR perlu ditentukan terlebih dahulu dengan cara mengkorelasikan nilai DPI menggunakan grafik atau persamaan dari Kementerian Pekerjaan Umum. Tabel 6 merupakan tabulasi hasil korelasinya.

Tabel 6. Tabulasi hasil korelasi nilai DPI dan CBR

Sumber	Kode	CBR (%)
Proyek di Jakarta Utara	-	3,83
	Titik 1	2,68
Proyek di Bekasi	Titik 2	2,04
	Titik 3	3,35
Proyek di Jakarta Pusat	-	9,22
	Clay 1	24,92
	Clay 2	16,15
Penelitian di <i>Louisiana Transportation Research Center</i>	Clay 3	4,89
	Clay 4	5,87
	Clay 5	14,22
	Clay 6	29,33

Lanjutan Tabel 6. Tabulasi hasil korelasi nilai DPI dan CBR

Sumber	Kode	CBR (%)
Penelitian di <i>Louisiana Transportation Research Center</i>	<i>Clay 7</i>	10,92
	<i>Clay 8</i>	7,26
	<i>Clay 9</i>	39,80
	<i>Sand 1</i>	9,26
	<i>Sand 2</i>	8,43
	<i>Sand 3</i>	2,95

Setelah variabelnya sudah lengkap, variabel-variabel tersebut sudah dapat dikorelasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10. Korelasinya dipisah berdasarkan jenis tanah, dimana jenis tanah yang tersedia adalah *clay* dan *sand*.

Gambar 9. Hasil korelasi untuk tanah *clay*

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa terdapat hubungan atau korelasi antara nilai *modulus of subgrade reaction* (k_s) dan CBR, yaitu pada koefisien determinan (R^2) nya sebesar 0,6198 atau sama dengan 61,98%. Nilai tersebut mengandung arti bahwa variabel *modulus of subgrade reaction* (k_s) berpengaruh terhadap variabel CBR sebesar 61,98%. Sedangkan sisanya ($100\% - 61,98\% = 38,02\%$) dipengaruhi oleh variabel lain di luar persamaan regresi ini atau variabel yang tidak diteliti.

Besarnya nilai koefisien determinasi (R^2) berkisar antara 0 (nol) sampai 1 (satu). Namun, apabila dalam sebuah penelitian ditemukan R^2 bernilai minus atau negatif (-), maka dapat dikatakan tidak ada hubungan antara variabel yang dikorelasikan. Selanjutnya, semakin kecil nilai koefisien determinasi (R^2), maka artinya pengaruh variabel x terhadap variabel y semakin lemah. Dan sebaliknya, apabila nilai koefisien determinasi (R^2) semakin mendekati angka 1 atau 100%, maka pengaruh tersebut akan semakin kuat. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel memberikan nilai korelasi kuat dengan persamaan yang diperoleh adalah $y = -3E-11x^2 + 6E-05x - 3,6318$.

Gambar 10. Hasil korelasi untuk tanah sand

Dari Gambar 10 dapat dijelaskan bahwa terdapat hubungan atau korelasi antara nilai *modulus of subgrade reaction* (k_s) dan CBR, yang ditunjukkan pada garis warna kuning dan oranye. Untuk korelasi yang *trendline*-nya berwarna kuning dengan persamaan yang diperoleh adalah $y = -6E-09x^2 + 0,0015x - 35,173$, koefisien determinan (R^2) nya sebesar 0,9841 atau sama dengan 98,41%. Nilai tersebut mengandung arti bahwa variabel *modulus of subgrade reaction* (k_s) berpengaruh terhadap variabel CBR sebesar 98,41%. Sedangkan sisanya ($100\% - 98,41\% = 1,59\%$) dipengaruhi oleh variabel lain di luar persamaan regresi ini atau variabel yang tidak diteliti.

Kemudian, untuk korelasi yang *trendline*-nya berwarna oranye dengan persamaan yang diperoleh adalah $y = -2E-09x^2 + 0,0008x - 25,503$, koefisien determinan (R^2) nya sebesar 0,9878 atau sama dengan 98,78%. Nilai tersebut mengandung arti bahwa variabel *modulus of subgrade reaction* (k_s) berpengaruh terhadap variabel CBR sebesar 98,78%. Sedangkan sisanya ($100\% - 98,78\% = 1,22\%$) dipengaruhi oleh variabel lain di luar persamaan regresi ini atau variabel yang tidak diteliti.

Besarnya nilai koefisien determinasi (R^2) berkisar antara 0 (nol) sampai 1 (satu). Namun, apabila dalam sebuah penelitian ditemukan R^2 bernilai minus atau negatif (-), maka dapat dikatakan tidak ada hubungan antara variabel yang dikorelasikan. Selanjutnya, semakin kecil nilai koefisien determinasi (R^2), maka artinya pengaruh variabel x terhadap variabel y semakin lemah. Dan sebaliknya, apabila nilai koefisien determinasi (R^2) semakin mendekati angka 1 atau 100%, maka pengaruh tersebut akan semakin kuat.

Perbandingan nilai *undrained shear strength*

Untuk membandingkan nilai *undrained shear strength* (S_u) dari masing-masing pengujian, beberapa variabel perlu dikorelasikan terlebih dahulu sebelum mendapatkan nilai S_u . Data yang digunakan hanya data yang jenis tanahnya *clay*. Pada uji *plate bearing*, variabel yang dibutuhkan adalah *ultimate bearing capacity* (q_{ult}) yang nilainya dapat ditentukan melalui diagram *load-settlement* secara aritmatika dan logaritmik. Berdasarkan diagram yang sudah dilampirkan sebelumnya, *ultimate bearing capacity* pada masing-masing proyek tidak dapat ditentukan karena sampel tanah yang diuji belum mencapai kondisi fraktur, sehingga nilai *ultimate bearing capacity* yang diambil adalah *maximum soil pressure*.

Kedalaman tanah pada saat pengujian *plate bearing* adalah di permukaan tanah, sehingga nilai kedalaman tanah (D_f) adalah sebesar 0 m. Kemudian, untuk faktor daya dukung Terzaghi (N_c , N_q dan N_γ), yang dimana sudut geser dalam (ϕ) yang digunakan menjadi 0 (nol) dan nilai kuat gesernya sama dengan nilai kohesi (c). Sehingga dengan menggunakan persamaan daya dukung yang dirumuskan oleh Terzaghi (1943) pada Persamaan (1), nilai S_u dari proyek di Jakarta Utara adalah sebesar 42,48 kN/m² dan proyek di Bekasi sebesar 32,14 kN/m².

Kemudian, nilai S_u juga dapat ditentukan menggunakan variabel q_u atau *unconfined compressive strength* yang dapat dikorelasikan dengan nilai DPI. Dengan menggunakan q_u pada Persamaan (8), nilai q_u dari proyek di Jakarta Utara adalah sebesar 105,9401 kN/m², proyek di Bekasi (titik 1) sebesar 83,8703 kN/m², proyek di Bekasi (titik 2) sebesar 70,0614 kN/m² dan proyek di Bekasi (titik 3) sebesar 97,0217 kN/m².

Kemudian, setelah nilai q_u sudah ditentukan, maka nilai S_u dapat ditentukan juga menggunakan Persamaan (7). Nilai S_u untuk proyek di Jakarta Utara adalah sebesar 52,97 kN/m², proyek di Bekasi (titik 1) sebesar 41,94 kN/m², proyek di Bekasi (titik 2) sebesar 35,03 kN/m² dan proyek di Bekasi (titik 3) sebesar 48,51 kN/m².

Tabel 7. Nilai S_u masing-masing hasil uji

Sumber	S_u dari PBT (kN/m ²)	S_u dari DCP (kN/m ²)
Proyek di Jakarta Utara	$\geq 32,67$	52,97
Proyek di Bekasi (Titik 1)	$\geq 24,73$	41,94
Proyek di Bekasi (Titik 2)	$\geq 24,73$	35,03
Proyek di Bekasi (Titik 3)	$\geq 24,73$	48,51

Jadi, pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai S_u dari pengujian *plate bearing* lebih kecil nilainya dibandingkan yang dari pengujian *dynamic cone penetrometer*. Alasannya adalah karena pada saat menentukan q_{ult} dari diagram *load-settlement*, sampel tanah yang diuji semuanya belum mencapai kondisi fraktur, sehingga tidak bisa ditentukan nilainya dan digunakan *maximum soil pressure* sebagai *ultimate bearing capacity*. Namun, dilihat dari Tabel 7 dapat dibuktikan bahwa nilai S_u sebenarnya bisa lebih besar nilainya dibandingkan hasil yang didapatkan dan setara dengan nilai S_u hasil korelasi dari data *dynamic cone penetrometer test*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut, yaitu.

1. Terdapat hubungan atau korelasi antara nilai *modulus of subgrade reaction* dan CBR tiap jenis tanah. Untuk jenis tanah lempung, koefisien determinan yang diperoleh adalah sebesar 0,6918 atau 69,18% yang dimana persamaannya adalah $y = -3E-11x^2 + 6E-05x - 3,6318$. Dari nilai koefisien determinannya, dapat disimpulkan bahwa korelasi untuk jenis tanah lempung, nilai korelasinya kuat karena semakin mendekati angka 1 atau 100%. Sedangkan, untuk jenis tanah pasir, digunakan dua buah korelasi dari jurnal, dengan koefisien determinan yang diperoleh sebesar 0,9841 atau 98,41% dan 0,9878 atau 98,78%, yang dimana persamaannya secara berurutan adalah $y = -6E-09x^2 + 0,0015x - 35,173$ dan $y = -2E-09x^2 + 0,0008x - 25,503$. Apabila diperhatikan nilai koefisien determinannya, dapat disimpulkan bahwa korelasi untuk jenis tanah pasir, nilai korelasinya sangat kuat karena nilai R^2 nya mendekati nilai 1.
2. Korelasi nilai *undrained shear strength* dari masing-masing pengujian belum bisa dijelaskan karena nilai *bearing capacity* yang didapat belum mencapai *ultimate*.

Saran

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan, adapun beberapa hal yang dapat disarankan adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data yang lebih beragam agar hasil korelasi antara nilai *modulus of subgrade reaction* dan CBR dapat membentuk koefisien determinan yang lebih tinggi sampai mendekati 1 (satu).
2. Mengumpulkan data *plate bearing test* yang pengujian sampel tanahnya mencapai kondisi *fracture*, sehingga nilai *undrained shear strength* dapat dibandingkan dan dapat dilihat perbedaannya dari masing-masing pengujian.
3. Untuk lokasi pengujian *plate bearing test* dan *dynamic cone penetrometer test*, dilakukan pemadatan awal terlebih dahulu, agar mendapatkan hasil korelasi yang lebih akurat dari material atau sampel yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Ali, Mohammed Salih. "Evaluation of Allowable Bearing Capacity of Soil By Plate Bearing Test. A Case Study in Al-Diwaniyah City." *Iraq Academic Scientific Journal* 13.1 (2013): 101-111.
- Abu-Farsakh, Murad Y., et al. *Assesment of In-Situ Test Technology for Construction Control of Base Courses and Embankments*. Louisiana State University. Baton Rouge, 2004.
- Alshkane, Younis M., Kamal Ahmad Rashed and Hyam Saleh Daoud. "Unconfined Compressive Strength (UCS) and Compressibility Indices Predictions from Dynamic Cone Penetrometer Index (DCP) for Cohesive Soil in Kurdistan Region/Iraq." *Geotech Geol Eng* (2020).

- Anyang, M. Y., et al. "Plate Load Test: Getting it Right." *49th Ghana Institution of Engineers (GhIE) Annual Conference*. Ghana, 2018. 1-7.
- ASTM International. ASTM D1994-94, Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings. Philadelphia, 1994.
- Bowles, Joseph E. *Foundation Analysis and Design*. 5th. New York City: McGraw-Hill, 1997.
- Christandy, Yosua, et al. "Kajian Nilai Modulus Reaksi Subgrade dan Nilai CBR Berdasarkan Pengujian di Laboratorium." *G-SMART : Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata* 1.1 (2017): 43-48.
- Das, Braja M. *Principles of Foundation Engineering*. Ed. Hilda Gowans. 7th. Boston: Cengage Learning, 2010.
- Das, Braja M. *Principles of Foundation Engineering*. Ed. Hilda Gowans. 8th. Boston: Cengage Learning, 2015.
- Dirriba, Alemayehu. Developing Correlation Between Dynamic Cone Penetration Index (DCPI) and Unconfined Compression Strength (UCS) of the Soils in Alem Gena Town. Master Thesis. Addis Ababa University. Addis Ababa, 2017.
- Fauzi, Lutfy Ahmad and Ikhyia. "Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dangkal Tipe Menerus Pengaruh Kedalaman Tanah Keras." *Reka Racana: Jurnal Teknik Sipil* 2.2 (2016): 36-46.
- Kementerian Pekerjaan Umum. Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 04/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Cara Uji California Bearing Ratio (CBR) dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2010.
- Kusumah, Haadi and Hartono. "Analisis Daya Dukung dan Penurunan Tanah Terhadap Pondasi Telapak di Pembangunan Ruko Jl. Pelabuhan II Kota Sukabumi." *SANTIKA: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi* 8.2 (2018): 275-283.
- Kwandy, Reyner, Gregorius Sandjaja Sentosa and Ali Iskandar. "Prediksi Penurunan Gedung dan Daya Dukung Menggunakan Hasil Uji Plate Bearing di Labuan Bajo, NTT." *Jurnal Mitra Teknik Sipil* 2.2 (2019): 75-84.
- Mardianus, Abubakar Alwi and Aprianto. "Korelasi Daya Dukung Tanah Dasar yang Didapat dari Hasil Uji Sondir (Cone Penetration Test), Dynamic Cone Penetrometer (DCP) dan Plate Bearing Test." *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura* 7.1 (2020).
- Mohammadi, S. D., et al. "Application of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) for Determination of the Engineering Parameters of Sandy Soils." *Engineering Geology* 101.3-4 (2008): 195-203.
- Mohammadi, S. D., et al. "Unit Skin Friction from The Extended Dynamic Cone Penetrometer (EDCP) Test Supplemented By Measurement of Torque Within Testing Wells." *IJST : Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering* 36.C1 (2012): 115-119.
- Rahmawati, Aulia, Yulvi Zaika and Eko Andi Suryo. "Perbandingan Modulus Reaksi Subgrade Berdasarkan Uji CBR Terhadap Hasil Uji Beban Pelat (Studi Kasus : Perencanaan Perkerasan Kaku)." *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil* 1.1 (2014): 91-98.
- Saing, Zubair, et al. "Study on Characteristics of Laterite Soil with Lime Stabilization as a Road Foundation." *International Journal of Applied Engineering Research* 12.14 (2017): 4687-4693.
- Sriharyani, Leni and Diah Oktami. "Kajian Penggunaan Dynamic Cone Penetrometer (DCP) untuk Uji Lapangan Pada Tanah Dasar Pekerjaan Timbunan Apron (Studi Kasus di Bandar Udara Radin Inten II Lampung)." *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi)* 5.2 (2016): 89-97.