HUBUNGAN KOEFISIEN DETERMINASI KOHESI TANAH LEMPUNG UNTUK PENGUJIAN UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH DIBANDINGKAN DENGAN PENGUJIAN HAND PENETROMETER

Mulyadi Yuswandono[1], Aditia Febriansya[1*], Andri Krisnandi Somantri[1]
Annisa Khoerani[1], Dimas Aldie Firmansyah[1]

[1]Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : aditia.febriansya@polban.ac.id

ABSTRAK

Dalam perancangan awal tanah dasar (*subgrade*) diperlukan parameter kekuatan geser tanah salah satunya nilai kohesi (c) yang didapatkan dari hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium. Pada tanah lempung biasanya didapatkan masalah seperti nilai kuat geser yang rendah, maka dari itu penelitian ini akan menggunakan sampel tanah lempung di kawasan Pantai Utara Jawa Barat berdasarkan "Atlas Sebaran Tanah Lunak Badan Geologi". Penelitian ini bertujuan untuk mempercepat perancangan awal tanah dasar (*subgrade*) dalam mendapatkan data parameter kekuatan geser tanah dari hasil pengujian. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dengan melakukan pengujian di lapangan yaitu *Hand Penetrometer Test* (HPT) dan pengujian di laboratorium yaitu *Unconfined Compression Strength* (UCS). Hasil penelitian menunjukan bahwa dari kedua hasil pengujian tersebut setelah dibandingkan dengan menggunakan tiga persamaan nilai koefisien determinasi adalah mendekati 1 yaitu eksponensial sebesar 0.87, logaritma sebesar 0.96, dan linear sebesar 0.94. Nilai standar deviasi yang dihitung berdasarkan analisis ketiga persamaan tersebut adalah dibawah 2, dimana hal ini menunjukan bahwa kedua pengujian ini memiliki hubungan dengan nilai keakuratan yang cukup baik. Selanjutnya jika akan melakukan perancangan awal tanah dasar (*subgrade*) untuk mendapatkan data parameter kekuatan geser tanah hanya perlu dilakukan salah satu pengujian saja, baik itu penguian di lapangan yaitu *Hand Penetrometer Test* (HPT) atau di laboratorium yaitu *Unconfined Compression Strength* (UCS)

ABSTRACT

In the initial design of subgrade soil shear strength parameters are needed, one of which is the cohesion value (c) obtained from the results of tests in the field and in the laboratory. In clay soils, problems are usually encountered such as low shear strength values, therefore this study will use clay samples in the North Coast of West Java based on the "Atlas Sebaran Tanah Lunak Badan Geologi". This study aims to accelerate the initial design of the subgrade in obtaining soil shear strength parameter data from the test results. The methodology used in this research is by conducting field tests, namely the Hand Penetrometer Test (HPT) and testing in the laboratory, namely Unconfined Compression Strength (UCS). The results showed that from the two test results, after being compared using three equations, the coefficient of determination value was close to 1, namely the exponential of 0.87, the logarithm of 0.96, and the linear of 0.94. The standard deviation value calculated based on the analysis of the three equations is below 2, which indicates that these two tests have a fairly good correlation with the accuracy value. Furthermore, if you are going to do the initial subgrade design to get the soil shear strength parameter data, you only need to do one test, either in the field, namely the Hand Penetrometer Test (HPT) or in the laboratory, namely Unconfined Compression Strength (UCS).

Kata Kunci:
Tanah lunak, tanah ekspansif, jalur pantura, daya dukung, HPT

1. PENDAHULUAN

Pada abad ke-14 jalur-jalur strategis di pesisir pantai utara Pulau Jawa dan beberapa lokasi pelabuhan telah difungsikan sebagai jalur perdagangan dan penyebaran agama oleh Wali Songo, yang menyebarkan ajaran agama Islam. Lokasi-lokasi tersebut adalah Cirebon, Demak, Kudus, Tuban, Lamongan, Gresik, dan Surabaya. Pada awal tahun 1800-an (abad ke-19), untuk meningkatkan pertahanan benteng keamanan dan meningkatkan komunikasi antardaerah di sepanjang Pulau Jawa pada zaman penjajahan Hindia Belanda, Gubernur Jenderal Herman Willem Daendels memulai pembangunan Jalan Raya Pos sepanjang sekitar 1.000 km, yang membentang dari Anyer, di ujung barat, sampai ke Panarukan, di ujung timur. Pada tiap-tiap 4,5 km di sepanjang Jalan Raya Pos dibangun pos-pos sebagai tempat perhentian dan penghubung pengiriman surat-surat [1-2].

Jalur Pantura merupakan salah satu jalur utama logistik Pulau Jawa dan menjadi salah satu koridor utama konektivitas nasional. Selain jalur lintas timur Sumatera, Jalur Pantura juga menjadi tolok ukur keberhasilan waktu tempuh rata-rata nasional dalam

target Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015-2019. Untuk mempertahankan kinerja jaringan jalan nasional, koridor Pantura Jawa, perlu dilakukan rangkaian kegiatan pemeliharaan kondisi jalan, baik rutin maupun rehabilitasi atau yang disebut sebagai kegiatan preservasi berkelanjutan. Pemerintah menargetkan kondisi kemantapan jalan di koridor Pantura, yang merupakan aset jalan nasional, harus dipertahankan sebesar 97,7%[1,4].

Pengembangan Jalur Pantura menjadi prioritas pembangunan transportasi saat ini. Hal ini didukung mengingat pendekatan fungsional Pantura, yang dulunya sebagai penyokong aspek keamanan dan komunikasi, sekarang beralih pada pendekatan aspek ekonomi dan lingkungan berkelanjutan. Untuk menjawab isu serta tantangan yang ada di Pulau Jawa dan Pantura, diperlukan upaya pengembangan ekonomi di sekitar Jalan Lintas Pantura, antara lain penanganan jalan nasional di Pantura, penyelesaian pembangunan Jalan Nasional Tol Trans Jawa, dan penanganan jalan nasional lintas lain [1,4]. Skema rencana pembangunan transportasi di Pantura Jawa dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 1. Peta Jalan Raya Pos (de Grote Postweg)-Daendels pada Awal Tahun 1804 [3]

Gambar 2 Skema Rencana Pembangunan Transportasi di Pantura Jawa [4]

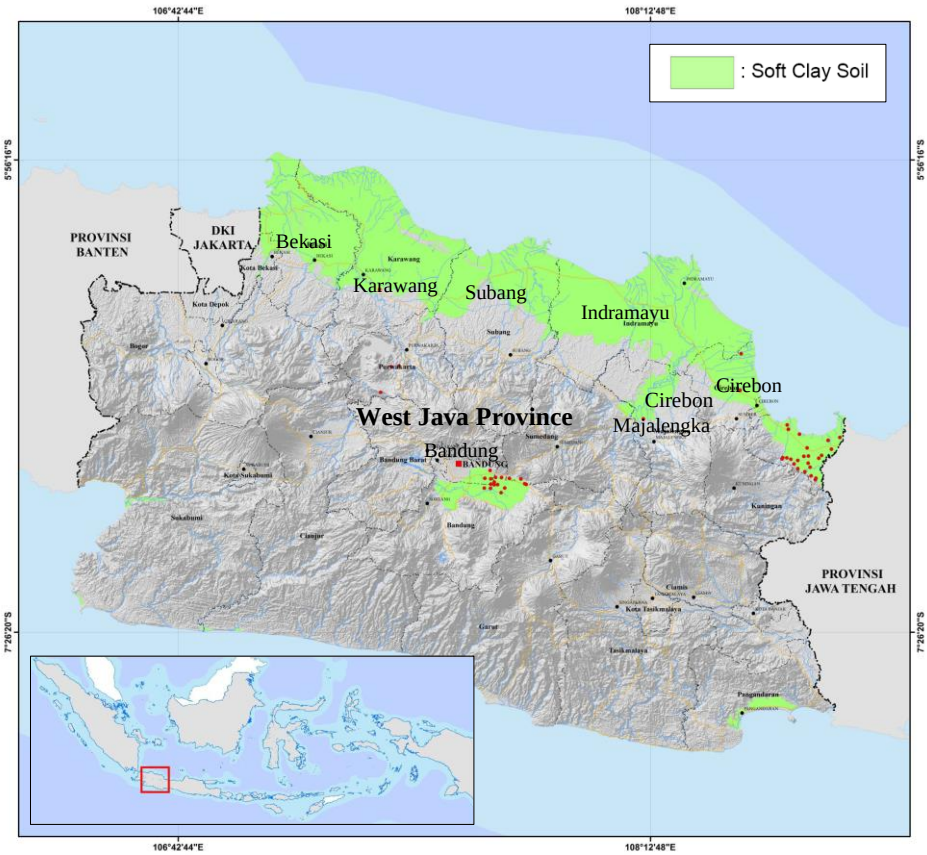
Seiring dengan pertumbuhan ekonomi Pulau Jawa, pertumbuhan infrastruktur di Pantura Jawa sangat mempengaruhi daerah-daerah strategis yang dilewati oleh Jalan Pantura Jawa. Jalan Pantura sepanjang 1.341 km terbentang dari Provinsi Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur digunakan sebagai prasarana kegiatan dan pusat kegiatan berskala nasional maupun internasional [1]. Namun sangat disayangkan apabila kita melihat kondisi struktur perkerasannya saat ini sudah banyak sekali struktur perkerasan yang retak, berlubang maupun ambles seperti pada Gambar 3 dimana hal itu dikhawatirkan masyarakat memberikan dampak lebih parah terhadap pasokan bahan baku maupun lainnya ke pusat industri di Pulau Jawa.

Berdasarkan Peta Sebaran Tanah Lunak Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, menunjukkan bahwa seluruh daerah yang dilalui Jalur Pantura di Provinsi Jawa Barat merupakan wilayah yang lapisan tanahnya merupakan tanah lempung lunak, dapat dilihat pada Gambar 4 [5].

Permasalahan yang timbul pada tanah lempung lunak adalah deformasi yang besar akibat kuat geser tanah yang rendah, penurunan yang besar, tingginya potensi kembang-susut tanah serta konstruksi yang ada di atasnya akan lebih cepat mengalami kerusakan bahkan sebelum umur rencananya [6-10].

Gambar 3. Jalan Ambles di Jalur Pantura

Dalam perancangan awal tanah dasar (*subgrade*) diperlukan parameter tanah yang didapatkan dari hasil pengujian di lapangan ataupun di laboratorium. Parameter tanah tersebut seperti kadar air, berat jenis tanah, kohesi, sudut geser dalam, dan masih banyak lagi. Kekuatan geser pada tanah sangat berhubungan erat dengan parameter tanah yaitu kohesi dan sudut geser dalam untuk mengetahui kekuatan geser dalam tanah dan menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegagan yang bekerja pada tanah berupa gerakan lateral tanah. Pada pembangunan jalan dan juga bangunan yang menggunakan tipe pondasi dangkal dengan kedalaman kurang dari 1 meter dapat dilakukan pengujian di lapangan seperti *Hand Penetrometer Test* (HPT) dan pengujian di laboratorium seperti *Unconfined Compression Strength* (UCS) untuk mendapatkan nilai kuat geser tanah sebagai bahan perencanaan.



Gambar 4. Peta Sebaran Tanah Lunak Provinsi Jawa Barat, Indonesia [5]

Jika menggunakan hasil pengujian di lapangan dan laboratorium untuk mendapatkan data parameter tanah membutuhkan waktu yang cukup lama. Hal ini yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian terkait kuat geser tanah khususnya pada nilai kohesi dengan tujuan untuk mengetahui hubungan persamaan dari nilai kohesi hasil pengujian di lapangan dengan laboratorium. Hubungan persamaan tersebut dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi (R^2), dimana nilai koefisien determinasi jika mendekati nilai sama dengan 1 artinya garis regresi cocok dengan data dan sempurna. Hubungan persamaan tersebut nantinya dapat berguna sebagai perancangan awal tanah dasar (*subgrade*) atau juga untuk fondasi dangkal tanpa perlu melakukan

pengujian tanah sebanyak dua kali yaitu laboratorium dan lapangan sehingga dapat mempercepat diperolehnya data tanah yang diinginkan, dalam hal ini nilai kohesi tanah.

Maka dari itu, karakteristik tanah harus diketahui sebagai dasar atau data awal dalam sebuah analisis perencanaan suatu konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah di kawasan Pantai Utara Jawa Barat berdasarkan hasil uji di lapangan dan di laboratorium, sehingga dalam suatu perencanaan suatu konstruksi, tidak dikhawatirkan lagi dari kemampuan daya dukung tanah lempung lunak itu sendiri, serta pengkarakterisasi ini diharapkan menjadi pendekatan awal untuk pengambilan keputusan perbaikan tanah sebelum/rekonstruksi Jalur Pantura.

2. METODOLOGI

Sampel tanah tidak terganggu diambil dari 18 kecamatan di 7 kota/kabupaten di Provinsi Jawa Barat, seperti terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 5. Lokasi pengujian dan pengambilan sampel tanah ini berdasarkan "Atlas Sebaran Tanah Lunak Badan Geologi" yang dilintasi Jalur Pantura di Provinsi Jawa Barat yaitu di Kabupaten Bekasi, Kabupaten Karawang, Kabupaten Subang, Kabupaten Indramayu, Kota Cirebon dan Kabupaten Cirebon, seperti terlihat pada Gambar 5. Sampel tanah tidak terganggu diambil dari seluruh lokasi berdasarkan SNI 2436:2008/ASTM D2488-17e1 [11]. Selanjutnya dilakukan serangkaian pengujian laboratorium untuk mengetahui karakteristik tanah, yaitu sifat fisik dan sifat mekanik sampel tanah berdasarkan SNI atau ASTM [12-17].

Tabel 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Kota/Kabupaten	Kecamatan	Sample Coordinate	
		Latitude	Longitude
Kabupaten Bekasi	Muara Gembong (1)	5°59'10"S	107°2'22"E
	Tambelang (2)	6°9'31"S	107°8'55"E
	Kedungwaringin (3)	6°14'30"S	107°14'48"E
Kabupaten Karawang	Rengasdengklok (4)	6°7'52"S	107°17'5"E
	Lemah Abang (5)	6°16'36"S	107°28'36"E
	Jatisari (6)	6°20'37"S	107°30'35"E
Kabupaten Subang	Patok Beusi (7)	6°22'28"S	107°38'39"E
	Blanakan (8)	6°17'25"S	107°43'36"E
	Pamanukan (9)	6°18'13"S	107°49'16"E
Kabupaten Indramayu	Patrol (10)	6°17'44"S	107°98'45"E
	Lohsarang (11)	6°23'43"S	108°12'22"E
	Indramayu (12)	6°20'22"S	108°20'26"E
Kota Cirebon	Kesambi (13)	6°43'11"S	108°33'12"E
Kabupaten Cirebon	Losari (14)	6°42'46"S	108°31'39"E
	Kedawungi (15)	6°50'29"S	108°48'6"E
Kabupaten Majalengka	Kertajati (16)	6°40'3"S	108°11'31"E
	Dawuan (17)	6°47'7"S	108°10'41"E
	Kadipaten (18)	6°43'54"S	108°12'12"E

Gambar 5. Layout Pengujian Tanah sepanjang Jalur Pantura

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian di Lapangan

Pengujian lapangan yang dilakukan ketika mengambil sampel tanah adalah Hand Penetrometer Test (HPT) dimana kita dapat menduga kekerasan tanah dengan mengukur perlawanan tanah terhadap konus dengan cara menghubungkan konus dengan stang yang kemudian ditekan oleh tenaga manusia.

Pengujian dilakukan pada enam daerah/ wilayah yang masing-masingnya diambil 3 titik untuk dilakukan pengujian hand penetrometer test (HPT). Dari hasil pengujian didapatkan nilai penetrasi (qu) untuk mengetahui konsistensi tanah pada daerah/ wilayah tersebut. Setelah dilakukan analisis didapatkan nilai qu rata-rata pada setiap daerahnya berkisar antara 2-9 kg/cm2 dimana nilai tersebut memiliki konsistensi tanah sangat lunak hingga lunak, maka dari itu tanah pada daerah tersebut dapat dikategorikan tanah lempung lunak.

Pengujian di Laboratorium

Pengujian sifat fisik (index properties) tanah ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung. Dari hasil pengujian kadar air tanah asli yang dilakukan sebanyak tiga sampel pada setiap daerahnya. Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat diambil rata-rata kadar air pada tanah tersebut, dan disimpulkan bahwa tanah yang diambil di kawasan Pantai Utara Jawa Barat memiliki kadar air rata-rata sebesar 38,995%. Hasil tersebut menunjukan bahwa tanah memiliki kandungan air yang cukup tinggi. Berdasarkan pengujian kadar air ini, maka tanah termasuk dalam golongan tanah lempung lunak.

Hasil pengujian berat jenis (Gs) yang sudah dilakukan di laboratorium didapatkan nilai berat jenis rata-rata sebesar 2,445 untuk kawasan Pantai Utara Jawa. Angka ini menunjukan bahwa sampel tanah tersebut termasuk kedalam golongan tanah lempung. Pengujian analisa ukuran butir ini dilakukan dengan cara mekanis, yaitu sampel tanah diguncang dengan kecepatan tertentu di atas sebuah susunan ayakan, kemudian tanah yang tertahan di atas saringan ditimbang beratnya dan digambar di dalam satu grafik logaritmik. Menurut sistem klasifikasi tanah Unified Soil Classification System (USCS), berdasarkan nilai persentase butiran lolos saringan No. 200 dimana rata-ratanya lebih besar dari 50%, maka berdasarkan tabel klasifikasi tanah USCS, sampel tanah yang diambil dari kawasan Pantai Utara Jawa Barat secara umum dikategorikan pada golongan tanah berbutir halus (lempung). Hidrometer yang bertujuan untuk menentukan pembagian ukuran butir yang lolos saringan No.200.

Indeks Plastisitas (IP) dapat digunakan sebagai tolok ukur awal dalam mengidentifikasi ekspansifitas tanah. Chen (1975) dalam Fathani dan Adi (1999) memberikan kriteria apabila IP > 35%, maka lempung termasuk kriteria ekspansif dan batas cair > 60%, maka tanah memiliki derajat pengembangan yang sangat tinggi. Dari hasil pengujian di laboratorium tanah pada kawasan Pantai Utara Jawa Barat memiliki IP sebesar 35,45%. Batas cair pada kawasan Pantai Utara Jawa Barat sebesar 65,35%. Maka tanah pada kawasan Pantai Utara Jawa Barat dapat disimpulkan memiliki pengembangan yang tinggi.

Tabel 2 Tabel Hasil Pengujian HPT dan UCS

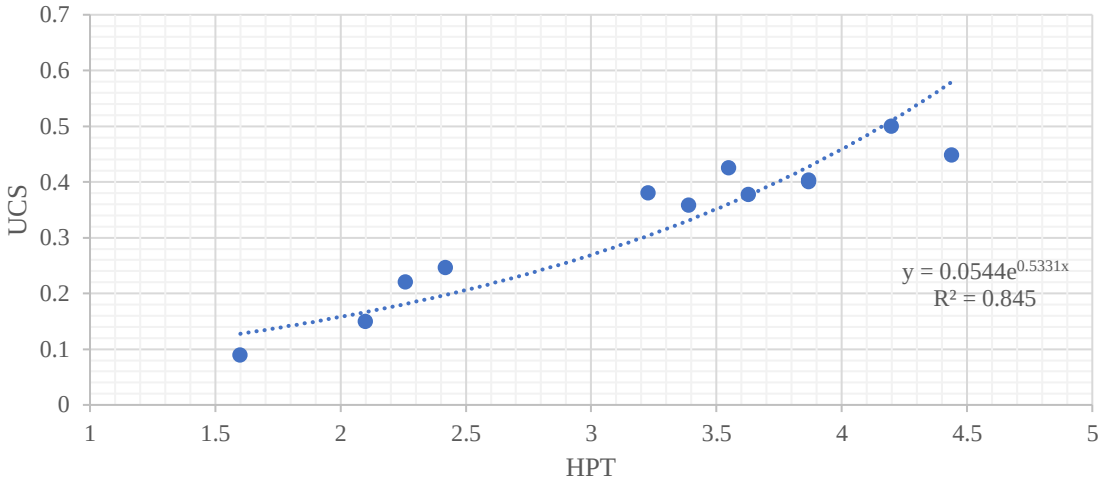
DAERAH/ WILAYAH	q_u (kg/cm^2)		DAERAH/ WILAYAH	q_u (kg/cm^2)	
	HPT	UCS		HPT	UCS
BEKASI			**INDRAMAYU**		
Muara gembong	2.83	-	Patrol	4.2	0.425
Tambelang	4.44	-	Lohsarang	4.68	-
Kedungwaringin	2.26	0.22	Indramayu	2.1	0.149
KARAWANG			**CIREBON**		
Rengasdengklok	2.42	-	Kesambi	4.2	0.38
Lemahabang	4.44	0.377	Losari	4.04	0.403
Jatisari	4.84	0.448	Gempol	3.39	0.358
SUBANG			**MAJALENGKA**		
Patokbeusi	2.74	-	Kertajati	3.39	0.198
Blanakan	2.42	0.246	Dawuan	1.61	0.089
Pamanukan	3.71	0.4	Kadipaten	5.17	0.5

Analisis Nilai Koefisien Determinasi dari Dua Pengujian

Berikut ini dilampirkan hasil pengujian Hand Penetrometer Test (HPT) dan Unconfined Compression Strength (UCS) dari 18 titik lokasi yang tersebar di 6 Kecamatan di daerah Pantura. Nilai HPT diambil dari kedalaman yang beragam yaitu rata-rata antara 0.2 m hingga 0.3 meter.

Dari data di atas kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan dengan menggunakan tiga persamaan yaitu Exponensial, Logaritma, dan juga Linear sehingga didapatkan nilai Koefisien determinasi.

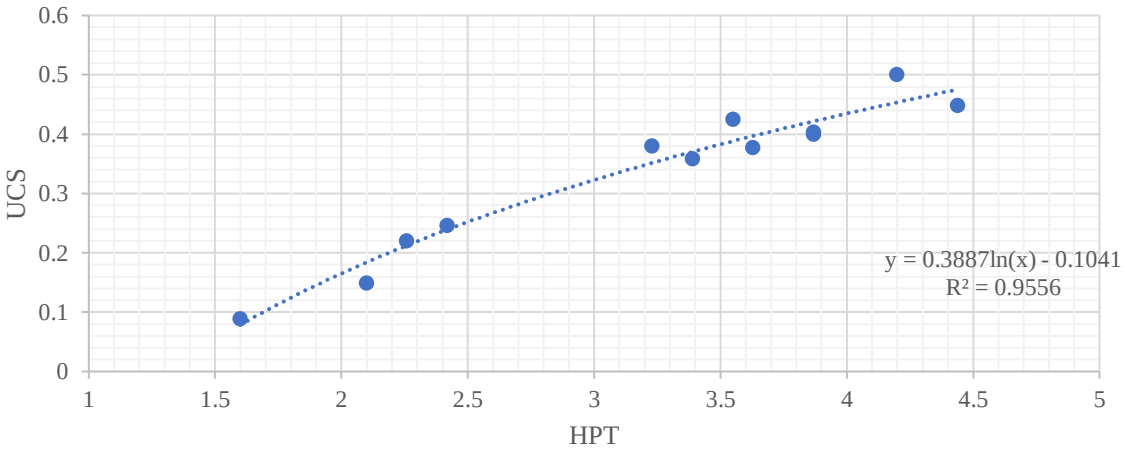
Persamaan Eksponensial



Gambar 6 Koefisien Determinasi dari Nilai UCS dan HPT

Dari persamaan eksponensial didapatkan nilai koefisien determinasi adalah 0.8697.

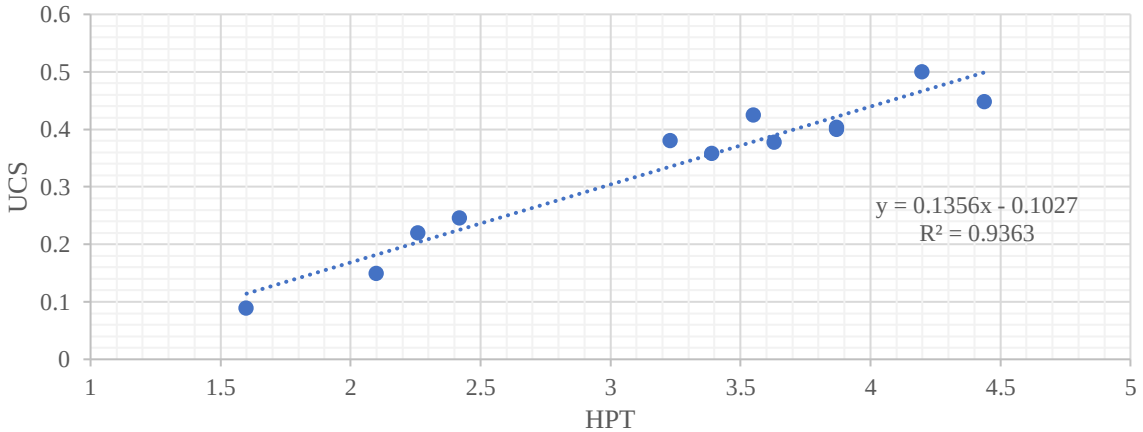
Persamaan Logaritma



Gambar 7 Koefisien Determinasi Persamaan Logaritma

Dari persamaan logaritma didapatkan nilai koefisien determinasi adalah 0.9556.

Persamaan Linear



Gambar 8 Koefisien Determinasi Persamaan Linear

Dari persamaan linear didapatkan nilai koefisien determinasi adalah 0.9363.

Dari ketiga persamaan tersebut kemudian dilakukan perhitungan berdasarkan rumus persamaan dengan memisalkan nilai x menggunakan angka 1, 1.5, 2, dan seterusnya sehingga didapatkan nilai y dari ketiga kondisi persamaan yang ditinjau. Selanjutnya dilakukan perhitungan standar deviasi dari seluruh sampel tersebut untuk melihat keakuratan data terkait persamaan dari pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 2 Perhitungan Rumus dan Standar Deviasi

Eksponen		Log		Linear	
x	Y	x	Y	X	y
1.5	0.121	1.5	0.054	1.5	0.101
2	0.158	2	0.165	2	0.169
2.5	0.206	2.5	0.252	2.5	0.236
3	0.269	3	0.323	3	0.304
3.5	0.352	3.5	0.383	3.5	0.372
4	0.459	4	0.435	4	0.440
4.5	0.599	4.5	0.481	4.5	0.508
Sd	1.582	Sd	1.585	Sd	1.583

Dari hasil analisis terkait data hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium untuk uji UCS dan di lapangan untuk uji HPT, didapatkan nilai regresi yang mendekati 0 (nol) dengan nilai standar deviasi dibawah 2 (dua). Hal ini menunjukkan bahwa pengujian UCS dan HPT saling memiliki hubungan walaupun tidak persis. Sehingga jika melakukan pengujian HPT di lapangan dapat diperkirakan nilai UCS di laboratorium, begitu pula sebaliknya.

Korelasi antara pengujian UCS dan HPT yang tidak persis ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor dan kondisi. Salah satu faktor utamanya ialah sampel uji yang terbatas pada 3 titik tiap lokasi yang ditinjau, dan kesalahan manusia atau *human error* ketika pengujian HPT di lapangan, penekanan alat HPT ke dalam tanah tidak menggunakan tekanan yang konstan sehingga HPT harus di tekan secara manual dengan menggunakan tenaga manusia dan hanya mengandalkan beban dari berat manusia sehingga hasilnya kurang spesifik.

4. KESIMPULAN

Dari pelaksanaan penelitian Hubungan Koefisien Determinasi Kohesi Tanah Lempung Untuk Pengujian Unconfined Compression Strength Dibandingkan Dengan Pengujian Hand Penetrometer Test dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tanah pada daerah Pantura yang terdiri dari 6 kecamatan yaitu Bekasi, Karawang, Subang. Indramayu, Cirebon, dan Majalengka merupakan tanah lunak berjenis lempung yang dapat dilihat dari hasil pengujian index properties di laboratorium pada lampiran terlampir.
2. Pada pengujian UCS atau *Unconfined Compression Strength* yang dilakukan, tidak semua sampel dapat diuji yang disebabkan jumlah sampel yang sangat terbatas ataupun rusaknya sampel tanah yang dimiliki. Hal ini menyebabkan dari total 18 titik yang ditargetkan hanya mendapatkan 12 titik.
3. Dari kedua hasil pengujian baik lapangan ataupun laboratorium setelah dibandingkan dengan menggunakan tiga persamaan nilai koefisien determinasi adalah mendekati 1 yaitu eksponensial sebesar 0.87, logaritma sebesar 0.96, dan linear sebesar 0.94.
4. Nilai standar deviasi yang dihitung berdasarkan analisis ketiga persamaan tersebut adalah dibawah 2, dimana hal ini menunjukan bahwa kedua pengujian ini memiliki hubungan dengan nilai keakuratan yang cukup baik.
5. Faktor kesalahan manusia atau *human error* merupakan faktor utama terutama pada pengujian HPT yang hanya mengandalkan berat beban manusia ketika melakukan penekanan alat HPT. Pada pengujian UCS faktor *human error* dapat terjadi saat pembacaan ring UCS dimana posisi mata tidak presisi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Bandung atas dukungan pendanaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil dan Laboratorium Uji Tanah Politeknik Negeri Bandung atas dukungan dan fasilitas yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hediyanto W. Husaini, Triono Junoasmono. 2017. Peran Infrastruktur Jalan Pantura Jawa Dalam Rangka Mendukung Peningkatan Ekonomi Nasional. Jurnal HPJI Vol. 3 No. 1 Januari 2017: 1-10.
[2] Endah Sri Hartatik. 2018. Dua Abad Jalan Raya Pantura Sejak Era Kerajaan Mataram Islam hingga Orde Baru. D.I.Yogyakarta: NURMAHERA.
[3] Direktorat Jenderal Bina Marga. 2015. Data Integrated Road Management System (IRMS) Semester II Tahun 2015. Jakarta.

[4] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 13.1/PRT/M/2015 tentang Rencana Strategis Kementerian PUPR Tahun 2015-2019. Jakarta.
[5] Wardoyo, Sarwondo, Farah Destiasari, Wahyudin, Wiyono, Ginda Hasibuan, William Pradana Sollu. 2019. Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
[6] H. Teunissen and C. Zwanenburg, "Modelling Strains of Soft Soils," in Procedia Engineering, 2017.
[7] M. Salimi and A. Ghorbani, "Mechanical and compressibility characteristics of a soft clay stabilized by slag-based mixtures and geopolymers," Appl. Clay Sci., 2020.
[8] Hasriana, L. Samang, T. Harianto, and M. N. Djide, "Bearing capacity improvement of soft soil subgrade layer with Bio Stabilized Bacillus Subtilis," in MATEC Web of Conferences, 2018
[9] Syahril, A K Somantri, and Aditia Febriansya. (2019). "The Effect of EPS Addition to Soil Stabilized with Fly Ash as Lightweight Fill Materials for Embankment Construction". Journal of Physics: Conference Series, Volume 1364, 012077. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/732/1/012027
[10] D Kumalasari; R D R B Prayogo; and Aditia Febriansya. (2020). "Expansion Potential and Plasticity Index Value of Expansive Soil Stabilization with Vermiculite and Bledug Kuwu Mud". Advances in Engineering Research, Atlantis Press, Volume 198, 388-393. DOI: https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.079
[11] ASTM D2488-17e1, Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures)
[12] ASTM D2216-19, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
[13] ASTM D854-14, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
[14] ASTM D4318-17e1, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
[15] ASTM D6913-04(2009)e1, Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
[16] ASTM D7928-21e1, Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis
[17] ASTM D2166-06, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil