

KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIS DAN FISIK TANAH LUNAK DI KABUPATEN ROKAN HILIR BERDASARKAN PENGUJIAN DOKENBO DAN VANE SHEAR

Abdullah Ihsan Alkubuwi¹⁾, Muhamad Yusa²⁾, Ferry Fatnanta³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya JL. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : abdullah.ihsanalkubuwi@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Along with the times and the rapid growth of technology created by humans, many ideas and ideas from building experts have emerged to research further about the nature and characteristics of the soil according to their respective types. In accordance with the topic of this research, the type of soil that will be studied further is soft soil. This study aims to determine the statistical relationship between physical characteristics and mechanical characteristics based on the parameter values obtained from dokenbo dan vane shear. In this study, an experiment was conducted to find the characteristics of soft soil in Rokan Hilir Regency using dokenbo and vane shear tools directly in the field, it is hoped that dokenbo dan vane shear have a relationship that can be compared later. Furthermore, the physical properties of the soft soil will be tested in the laboratory in order to determine the property value of the soft soil itself. The test was carried out at 30 points spread over several locations in Rokan Hilir Regency. From this research, the shear strength (S_u) of the dominant vane shear is 16-20 kPa, with an overall value range of 4-34 kPa. The dominant dokenbo penetration value range is 301-400 kN/m², with an overall value range of 158-1430 kN/m². The dominant dokenbo shear angle value range is 21 °-25 °, with an overall value range of 9-41 °. Based on the correlation results, the penetration value is directly proportional to the S_u value, the correlation between penetration and shear angle has a very low relationship, the correlation between penetration and physical properties has a low relationship.

Keywords: Soft soil, shear strength, Dokenbo

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu komponen bumi yang sangat besar pengaruhnya terhadap keberlangsungan perkembangan pembangunan infrastruktur. Tanah merupakan tumpuan dasar berdirinya semua benda yang berada di bumi termasuk bangunan yang digunakan untuk perkembangan peradaban manusia.

Menurut Terzaghi (1987), tanah adalah kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat termaksud diaduk dalam air. Dalam dunia Teknik Sipil, tanah didefinisikan sebagai agregat tak tersedimentasi dan terdiri dari mineral granula dan materi organik (partikel solid)

dengan zat cair, gas pada ruang kosong diantara partikel.

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung dan lanau. Lapisan tanah lunak mempunyai sifat kuat geser yang rendah, koefisien permeabilitas yang rendah, dan mempunyai daya dukung yang rendah. Kuat geser yang rendah mengakibatkan terbatasnya beban yang dapat bekerja di atasnya, sedangkan kompresibilitas yang besar yang dapat mengakibatkan penurunan setelah ditambahkan pembebanan (Siska&Yakin, 2016).

Dalam penelitian ini, hasil yang ditemukan berupa karakteristik tanah lunak di Kabupaten Rokan Hilir menggunakan alat *dokenbo* dan *vane shear* secara langsung di lapangan, dikarenakan alat *vane shear* juga bertujuan untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah di lapangan, jadi besar harapannya kedua alat ini mempunyai suatu hubungan yang dapat dibandingkan nantinya. Langkah pengujian selanjutnya yakni melakukan pengujian sifat fisik dari tanah lunak tersebut di laboratorium guna untuk mengetahui nilai propertis dari tanah lunak itu sendiri.

Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2019), persebaran tanah lunak di Kabupaten Rokan Hilir secara umum menempati posisi dataran pasang surut, dataran aluvial sungai, dataran banjir, dan dataran aluvial pantai, dengan kemiringan lereng kecil dari 2%,

Di antara alat-alat pengujian tanah yang telah dipaparkan tersebut, *dokenbo* merupakan salah satu alat yang masih asing dalam bidang pengujian tanah di Indonesia. *Dokenbo* merupakan peralatan untuk mengukur kekuatan geser dan kohesi tanah di lapangan yang dikembangkan oleh Institut Nasional Teknik Sipil di Jepang. *Dokenbo* juga dapat mengukur kekuatan lapisan tanah dan kedalaman lapisan tanah. Parameter-parameter yang didapat oleh *dokenbo* berupa kuat geser, sudut geser, dan adhesi tanah.

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode pengambilan nilai sudut geser di lapangan yang cepat dan ekonomis dengan alat *dokenbo* dan *vane shear* untuk mengetahui nilai kuat geser. Nilai ini bisa dijadikan koreksi dari sifat mekanis yang dihasilkan oleh alat *dokenbo* berdasarkan seberapa besar hasil korelasi yang didapat dari kedua alat tersebut. Penelitian ini juga mengembangkan metode yang bisa digunakan untuk memperkirakan sifat mekanis tanah lunak dari nilai kuat geser tanah lunak dan dari sifat fisik tanah lunak

tersebut. Tujuan penelitian ini adalah didapatkannya hubungan sederhana (korelasi) antara sifat mekanis tanah lunak dari alat *dokenbo* dengan nilai kuat geser dari *vane shear* dan korelasi antara sifat mekanis dan sifat fisik tanah lunak. Dimana korelasi ini diharapkan akan menghasilkan suatu rumus empiris yang dapat membantu penyelidikan tanah lunak dalam mendapatkan sifat mekanis tanah lunak yang lebih cepat dan murah.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah sangat membantu perancangan dalam memberikan suatu pengarahan melalui tata cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Klasifikasi tanah berfungsi untuk studi yang lebih terinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1991).

2.2 Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang Sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil dan sebagian besar bercampur dengan bahan-bahan organik. Lapisan tanah lunak mempunyai sifat gaya geser yang rendah, kemampatan yang tinggi, koefisien permeabilitas yang rendah, dan mempunyai daya dukung yang rendah.

Tanah lunak dapat dikategorikan ke dalam kelompok MH atau OH berdasarkan sistem klasifikasi *Unified Soil Classification Sistem* yang dikembangkan di Amerika Serikat oleh Casagrande (1948). Klasifikasi didasarkan pada prosedur-prosedur di laboratorium dan di lapangan.

2.3 Sudut Geser dan Kohesi Tanah Lunak

Sudut geser dan kohesi adalah nilai kuat geser tanah, makin tinggi nilainya makin tinggi pula kuat gesernya. Kohesi

dan sudut geser merupakan suatu parameter mekanika tanah dan batuan yang sangat sering dijadikan acuan dalam suatu perencanaan, pengujian serta analisis suatu rancangan.

2.4 Pengujian Lapangan

2.4.1 Pengujian *Dokenbo*

Dokenbo merupakan peralatan untuk mengukur kekuatan lapisan tanah di lapangan yang dikembangkan oleh Institut Nasional Teknik Sipil di Jepang. Pengujian *Dokenbo* dapat secara cepat mengukur kedalaman dan kekuatan lapisan tanah hingga beberapa meter di bawah tanah. Bagian-bagian alat *Dokenbo* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat *Dokenbo*

Parameter-parameter yang didapat dari pengujian geser menggunakan alat *Dokenbo* mendapatkan nilai sudut geser tanah (Φ) secara langsung di lapangan dengan kondisi tanah *undrained* maupun *drained* sesuai prosedur pengujian berdasarkan pembacaan tekanan penetrasi dari alat *dokenbo*. Alat ini menggunakan *vane cone shear test* yang ditancapkan pada kedalaman yang sudah ditentukan sebelumnya pada lapisan tanah, dan memutar bacaan torsi yang diukur dalam berbagai beban.

Kekuatan Penetrasi (qdk) diperoleh dengan membagi Gaya Penetrasi Statis dengan luas penampang konus yaitu $1,76 \times 10^4 \text{ m}^2$. Nilai Kekuatan Penetrasi maksimum sekitar 2800 kN/m^2 dengan peralatan standar (maksimum 500 N). Rumus Kekuatan Penetrasi (qdk) dapat dilihat dibawah ini :

$$qdk = \frac{Qdk/1000}{A} \dots\dots\dots (1)$$

$$Qdk = W + (m_0 + n \times m_1) \times g \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

qdk = Kekuatan Penetrasi

Qdk = Ujung *cone* Penetrasi (N)

A = Luas Penampang ujung *cone* (m^2)

W = Bacaan beban vertikal (N)

m_0 = Berat *cone* dan tongkat 450 mm (Kg)

n = Jumlah tongkat 500 mm

m_1 = Berat 1 tongkat 500 mm (kg)

g = Gaya gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$

Rumus empiris berikut digunakan untuk mengetahui tegangan vertikal dan tegangan geser dengan menggunakan alat *Dokenbo*.

$$\sigma = 2,4 \times 10^2 \times Wvc \dots\dots\dots (4)$$

$$Wvc = W_N + (m_0 + n \times m_1) \times g \dots\dots\dots (5)$$

$$\tau = 1,5 \times 10^4 \times Tvc \dots\dots\dots (6)$$

$$Tvc = T_N - T_0 \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

Wvc = Beban vertikal pada *vane cone* (N)

Tvc = Torsi yang dipasang pada *vane cone* (N.m)

W_N = Bacaan beban vertikal (N)

T_N = Torsi dengan beban (N.m)

T_0 = Torsi tidak ada beban (N.m)

σ = Tegangan Normal (kN/m^2)

τ = Tegangan Geser (kN/m^2)

2.4.2 Pengujian *Vane Shear*

Pengujian *Vane Shear* bertujuan untuk menentukan kuat geser *Undrained* dari tanah kohesif yang lunak. Alat *Vane shear* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alat *Vane Shear*

Pengujian *Vane Shear* dilakukan hingga kedalaman 3 m. Pengujian

dihentikan apabila tanah memasuki lapisan relatif keras dengan bacaan kuat geser > 50 kPa.

Nilai kuat geser untuk tanah lunak tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Su_{Lapangan} = Dial\ Reading \times k \dots\dots\dots (8)$$

$$Resistivitas = \frac{Dial\ Reading\ 1}{Dial\ Reading\ 2} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

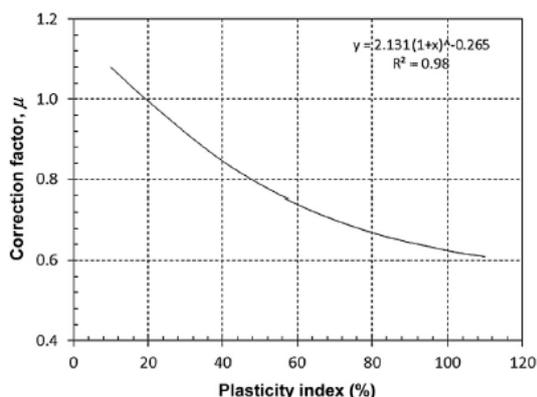
$Su_{Lapangan}$ = Kuat geser tanah (kPa)

$Dial\ Reading$ = Nilai bacaan alat (kPa)

k = Kalibrasi baling-baling

Nilai kuat geser yang dihasilkan dari pengujian *vane shear* sering dihubungkan dengan nilai tahanan selimut maupun nilai tahanan ujung konus pada tanah. Hubungan antara konsistensi terhadap tekanan konus dan *undrained cohesion* adalah sebanding dimana semakin tinggi nilai c dan qc maka semakin keras tanah.

Menurut Bjerrum (1972), dalam penelitian pada longsoran lereng membuktikan bahwa nilai kuat geser *undrained* dari uji kipas geser di lapangan terbukti terlalu tinggi. Oleh karena itu, untuk perencanaan dengan menggunakan hasil uji kipas geser di lapangan, perlu adanya faktor koreksi tergantung dari besarnya indeks plastisitas dari lempung yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Faktor koreksi kuat geser undrained dari pengujian baling-baling di lapangan

Sumber : Bjerrum, 1972

Adapun persamaan rumus nilai koreksi terhadap nilai Kuat Geser tak Terdrainasi sebagai berikut :

$$Su_{Terkoreksi} = Su_{Lapangan} \times \mu \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

μ = Faktor Koreksi

2.4.3 Pengujian Hand Bor

Bor Tangan (*Hand Bor*) merupakan pekerjaan paling umum dilakukan dalam survey geoteknik. Bor Tangan bertujuan untuk mengetahui jenis tanah secara visual pada suatu kedalaman tertentu dan untuk mengambil sampel tanah yang selanjutnya akan dilakukan pengujian di laboratorium.

2.5 Pengujian Laboratorium

2.5.1 Pengujian Kadar Air

Kadar air adalah perbandingan antara massa (berat) air yang dikandung tanah dan massa (berat) kering tanah. Kandungan kadar air dapat dijadikan acuan dalam menentukan batas-batas konsistensi suatu tanah, seperti batas cair, batas plastis, dan batas susut.

Tujuan dari percobaan ini ialah untuk memeriksa kadar air suatu contoh tanah yaitu dengan cara membandingkan antara massa air yang dikandung tanah dengan massa kering tanah yang dinyatakan dalam persen (%).

Kadar air (w) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

w = kadar air (%)

W_w = Massa air (gr)

W_s = Massa tanah kering (gr)

2.5.2 Pengujian Berat Volume Tanah

Berat volume tanah (γ) adalah berat tanah persatuan volume. Berat volume juga dinyatakan dalam berat butiran padat, kadar air dan volume tanah total. Tanah tersusun dari butiran padat dan rongga pori, rongga air yang dapat berupa air atau udara atau keduanya. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat volume

suatu tanah dengan melihat perbandingan antara berat tanah dan volumenya.

Adapun rumus untuk menghitung berat volume tanah sebagai berikut :

a. Berat volume basah (γ_{wet})

$$\gamma_{wet} = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

γ_{wet} = Berat Volume Basah (gram/cm³)

M = Massa tanah basah (gram)

V = Volume tanah (m³ atau cm³)

b. Berat volume kering (γ_{dry})

$$\gamma_{dry} = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

γ_{dry} = Berat volume kering (gram/cm³)

γ_{wet} = Berat volume basah (gram/cm³)

w = Kadar air (%)

2.5.3 Pengujian Berat Spesifik Tanah (Gs)

Berat Spesifik tanah merupakan perbandingan antara massa butiran dengan massa air murni (destilasi) di udara pada volume yang sama dengan berat spesifik butiran tanah pada suhu (t)^oc dengan rumus :

$$Gs = \frac{\text{massa butiran (gram)}}{\text{massa air (gram)}} \dots\dots\dots ..(14)$$

Pengujian berat spesifik ini bertujuan untuk menentukan berat spesifik suatu tanah dengan melakukan perbandingan antara massa butir-butir tanah dengan massa air destilasi di udara dengan volume yang sama pada suhu temperatur tertentu.

2.5.4 Pengujian Batas Cair Tanah

Batas cair (*Liquid Limit*) adalah keadaan cair dan plastis/ keadaan air tanah yang bisa di putar 25 kali ketukan dengan alat *Cassagrande*, tanah sudah dapat merapat (sebelumnya terpisah dalam jalur yang dibuat dengan solet). Batas cair di definisikan sebagai kadar air yang paling rendah dimana tanah berada dalam keadaan cair.

US Water Ways Experiment Station, viksburg, (1949), mengajukan suatu persamaan empiris untuk menentukan batas cair, yaitu :

$$LL = w \left(\frac{N}{25} \right)^{\tan \beta} \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

LL = Batas cair

w = Kadar air (%)

N = Jumlah pukulan

$\tan \beta$ = 0,121

2.5.5 Pengujian Batas Plastis dan Indeks Plastisitas

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat yang berupa kadar air minimum (dinyatakan dalam persen) bagi tanah yang masih dalam keadaan plastis.

Batas plastis merupakan batas rendah dan tingkat keplastisitasannya suatu tanah yang nantinya digunakan untuk mencari selisih dengan batas cair guna untuk mendapatkan nilai indeks plastisitas. Indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis yang dapat dilihat dengan tanda jika tanah digiling menjadi batang-batang berdiameter 3,2 mm (1/8 Inch) mulai terlihat membentuk seperti pola retak-retak sebesar rambut dengan kata lain Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis yang dirumuskan sebagai berikut :

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots (16)$$

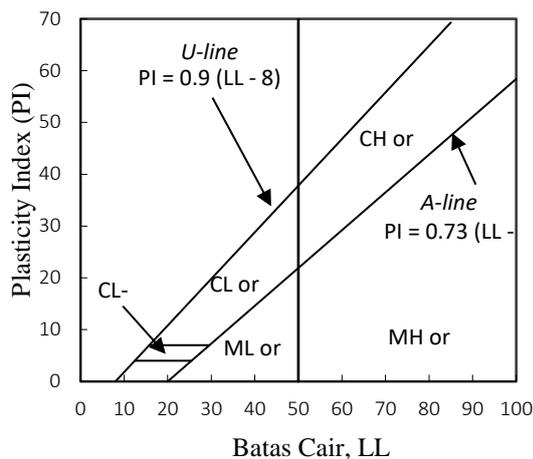
Dimana :

PI = Indeks Plastisitas

LL = Batas Cair

PL = Batas Plastis

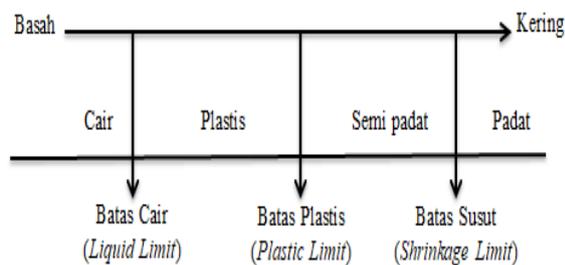
Tanah lempung lunak dapat dikategorikan ke dalam kelompok *MH* atau *OH* berdasarkan sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)* yang dikembangkan di Amerika Serikat oleh *Cassagrande* (1948) terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Batas Cair dan Indeks Plastisitas Tanah

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk

Atterberg (1911) memberikan cara untuk menggambarkan batas konsistensi tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan air tanah. Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Batas-batas Atteberg
Sumber : Atterberg, 1911

2.5.6 Pengujian Hydrometer

Analisis *Hydrometer* adalah metode untuk menghitung distribusi ukuran butiran tanah berdasarkan sedimentasi tanah dalam air, kadang disebut juga dengan uji sedimentasi. Analisis *Hydrometer* ini bertujuan untuk

mengetahui pembagian ukuran butiran tanah yang berbutir halus. Manfaat hasil uji ini ialah untuk perbandingan dengan sifat tanah yang ditentukan dari uji batas-batas *Atterberg* dan untuk menentukan aktivitas tanah.

2.6 Regresi Linier

Analisis regresi linier adalah metode statistika yang digunakan untuk membentuk model atau hubungan antara satu atau lebih variabel bebas X dengan sebuah variabel respon Y.

2.7 Regresi linier sederhana

Regresi linier sederhana digunakan untuk mendapatkan hubungan matematis dalam bentuk suatu persamaan antara variabel tak bebas tunggal dengan variabel bebas tunggal.

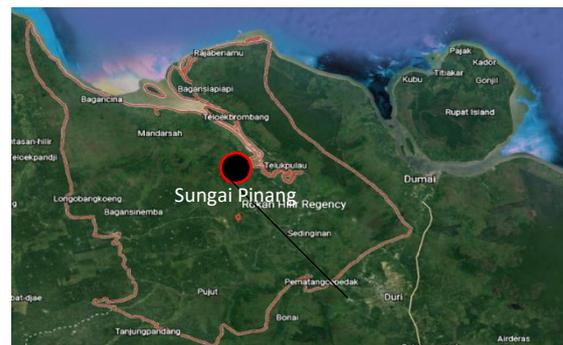
2.8 Regresi linier berganda

Analisis regresi linier berganda adalah hubungan secara linear antara dua atau lebih variabel independen (X_1, X_2, \dots, X_n) dengan variabel dependen (Y).

3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data umum penelitian

Lokasi penelitian ini berada di di lokasi Desa Sungai Pinang, Kabupaten Rokan Hilir, Provinsi Riau. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta Lokasi Penelitian

Pengujian di lapangan dilakukan sebanyak 3 titik dalam lokasi Desa Sungai Pinang, dengan masing-masing titik koordinatnya dapat dilihat pada Tabel 1.

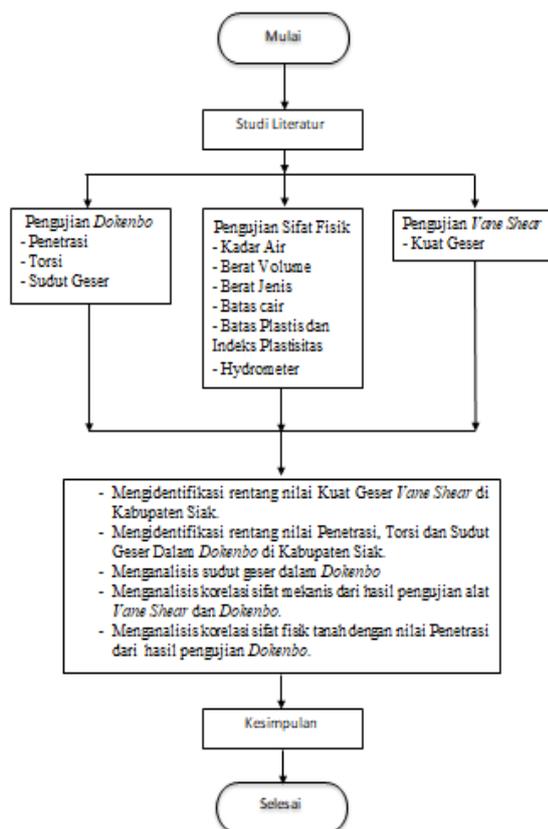
Tabel 1. Titik Pengujian di Lapangan

Titik	Koordinat
1	2°03'43'' N 100°38'48'' E
2	2°03'41'' N 100°38'48'' E
3	2°03'43'' N 100°38'43'' E

Pengujian lapangan dilakukan sebanyak tiga (3) titik. Pengujian lapangan meliputi pengujian *Dokenbo*, *Vane Shear*, kadar air, berat volume tanah dan pengambilan sampel tanah menggunakan *Hand Bor*, lalu sampel tanah dibawa ke laboratotium untuk pengujian sifat fisik tanah.

3.2 Bagan Alir Penelitian

Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Bagan Alir Penelitian

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Lapangan

Hasil pengujian lapangan antara lain hasil pengujian *Vane Shear* dan pengujian

Dokenbo di lokasi Sungai Pinang, Kabupaten Rokan Hilir.

1. Hasil Pengujian *Vane Shear*

Pengujian *Vane Shear* di lapangan menggunakan dimensi baling-baling 16x32. Hasil pengujian *Vane Shear* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Vane Shear*

Titik	Depth (m)	Su (kPa)	Su Terkoreksi (kPa)
1	1	16	9,45
	2	20	14,99
	3	16	20,25
2	1	22	3,59
	2	38	7,60
	3	20	23,02
3	1	38	16,90
	2	26	19,55
	3	16	29,23

Berdasarkan Tabel 2 hasil pengujian *Vane Shear* didapat nilai Su dengan rentang 16-38 kPa.

2. Hasil Pengujian *Dokenbo*

Hasil pengujian *Dokenbo* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Dokenbo*

Titik	Depth (m)	qdk kN/m ²	To N.m	φ
1	1	664	0,65	24,90
	2	488	0,50	21,45
	3	534	0,55	28,18
2	1	338	0,15	17,82
	2	439	0,50	32,79
	3	569	0,55	41,19
3	1	551	0,50	38,78
	2	550	0,65	20,56
	3	645	0,80	16,89

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh nilai Penetrasi (qdk) dengan rentang 338-664 kN/m², nilai Torsi dengan rentang 0,15-0,80 N.m, dan Sudut Geser Dalam dengan rentang 16°-41°.

Nilai sudut geser dalam yang didapatkan dari pengujian *dokenbo* memiliki nilai yang besar, hal ini mungkin

karena alat *dokenbo* masih tergolong baru sehingga rumus empiris untuk menghitung sudut geser belum bisa digunakan. Berdasarkan hasil perbandingan nilai sudut geser *dokenbo* dengan sudut geser terkoreksi memiliki perbedaan nilai yang signifikan, karena rumus empiris yang digunakan untuk jenis tanah di Jepang.

4.2 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah pada penelitian ini meliputi pengujian Kadar Air, Berat Volume Tanah, Berat Jenis Tanah (Specific Gravity), Batas Cair Tanah, Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Serta Hydrometer. Hasil pengujian sifat fisik tanah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Fisik

Nama Desa	Titik	Kedalaman (m)	Kadar Air (%)	Berat Volume		Berat Jenis	Atterberg Limit			Hydrometer			
				Berat Volume Basah	Berat Volume Kering		Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)	Clay (%)	Silt (%)	Fines (%)	Sand (%)
Sungai Pinang	1	1	74.30	6.72	3.85	2.69	67.09	46.61	20.47	48.51	23.20	98.44	1.56
		2	84.61	6.41	3.47	2.55	68.77	47.52	21.25	46.92	26.93	96.29	3.71
		3	101.66	6.32	3.14	2.54	65.52	42.77	22.75	36.72	39.78	94.86	5.14
	2	1	59.82	6.90	4.32	2.56	65.23	40.19	25.04	24.48	24.34	97.78	2.22
		2	96.31	6.46	3.29	2.57	63.94	43.83	20.11	27.54	14.88	95.46	4.54
		3	106.05	6.34	3.08	2.65	65.42	46.09	19.33	28.00	13.02	96.02	3.98
	3	1	59.68	6.78	4.25	2.45	75.08	43.29	31.79	16.00	25.04	95.04	4.78
		2	130.18	6.45	2.80	2.69	74.53	48.42	26.11	20.40	25.86	95.22	4.74
		3	316.95	6.39	1.53	2.64	73.33	43.59	29.73	26.73	19.03	95.26	4.96

4.3 Analisis Klasifikasi Tanah

Analisis klasifikasi tanah menurut ASTM D-2487-06 *Unified Soil Classification System* (USCS). Hasil klasifikasi tanah pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi Jenis Tanah USCS

Titik	Depth (m)	Jenis Tanah	Keterangan
1	1	MH	Elastic Clay
	2	MH	Elastic Clay
	3	MH	Elastic Clay
2	1	MH	Elastic Clay
	2	MH	Elastic Clay
	3	MH	Elastic Clay
3	1	MH	Elastic Clay
	2	MH	Elastic Clay
	3	MH	Elastic Clay

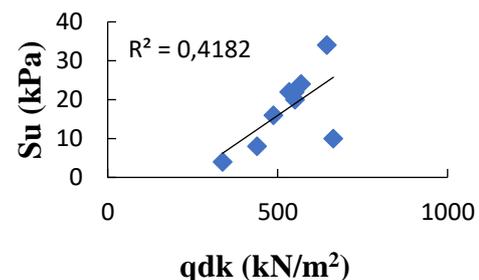
Berdasarkan Tabel 5 analisis klasifikasi tanah pada penelitian ini didapat jenis tanah dominan adalah MH-*Elastic Clay*.

4.4 Analisis Karakteristik Mekanis

Korelasi antara karakteristik mekanis dari hasil pengujian *Dokenbo* dan *Vane Shear*. Korelasi dilakukan dengan 1 (satu) variabel hingga 2 (dua) variabel.

1. Korelasi Satu Variabel

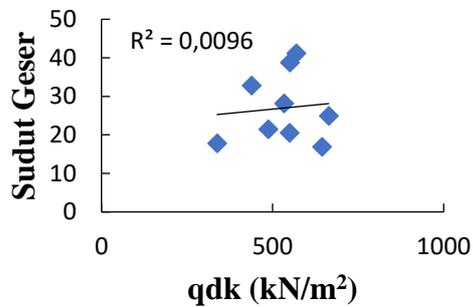
Korelasi antara nilai Penetrasi (qdk) dan *Shear Strength* (Su) dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Korelasi antara nilai Penetrasi (qdk) dengan *Shear Strength* (Su)

Berdasarkan Gambar 8 korelasi antara nilai Penetrasi (qdk) dan *Shear Strength* (Su) memiliki interpretasi yang tergolong cukup dengan nilai $R^2 = 0,4182$. Nilai korelasi Penetrasi (qdk) dengan *Shear Strength* (Su) memiliki hubungan yang berbanding lurus, semakin tinggi

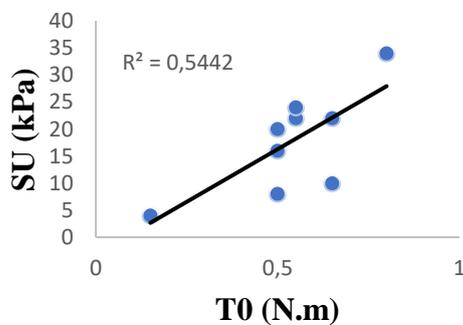
nilai Penetrasi (qdk) maka semakin besar pula nilai *Shear Strength* (Su) tanah tersebut. Korelasi nilai Penetrasi (qdk) dan Sudut Geser Dalam dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Korelasi antara Sudut Geser Dalam dengan Penetrasi (qdk)

Berdasarkan Gambar 9 korelasi antara nilai Sudut Geser Dalam dan Penetrasi (qdk) memiliki interpretasi yang sangat rendah dengan nilai $R^2 = 0,0096$.

Korelasi nilai Torsi (To) dan *Shear Strength* (Su) dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Korelasi antara torsi (To) dengan *Shear Strength* (Su)

Berdasarkan Gambar 10 korelasi antara nilai Torsi (To) dan *Shear Strength* (Su) memiliki interpretasi yang sangat kuat dengan nilai $R^2 = 0,5442$.

2. Korelasi Multi Variabel

Korelasi multi variabel antara Penetrasi, *Shear Strength* (Su) dan Torsi (To) dengan menggunakan Analisis *ToolPak* pada *Microsoft Excel*. Korelasi multi variabel antara Penetrasi, *Shear*

Strength (Su) dan Torsi (To) yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Korelasi multi variabel antara Penetrasi, *Shear Strength* (Su) dan Torsi (To).

Keterangan	Nilai
Multiple R	0,80165
R Square	0,64264
Adjusted R Square	0,63433
Observations	90
Significance F	0,03628
Coefficient Correlation (r)	150,47595
Coefficient Intercept	6,77991
Coefficient Su (kPa)	541,75988
Coefficient To (N.m)	0,80165

Berdasarkan Tabel 6 korelasi antara nilai Penetrasi (qdk) dan *Shear Strength* (Su) dan Torsi (To) memiliki interpretasi yang kuat dengan nilai $R^2 = 0,642$. Nilai signifikansi F yang diperoleh sebesar $0,036 < 5 \%$, ini menunjukkan *Shear Strength* (Su) dan Torsi berpengaruh terhadap nilai Penetrasi. Persamaan yang diperoleh dari korelasi di atas adalah sebagai berikut:

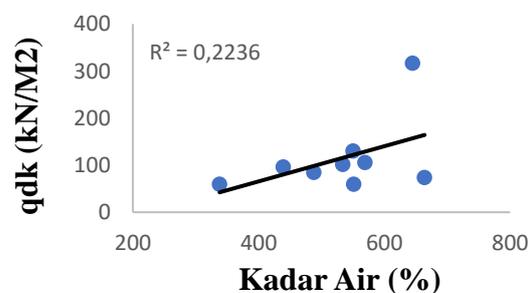
$$qdk = 150,47 + 541,75 Su + 6,78 To.. (17)$$

4.5 Korelasi Antara Sifat Mekanis dan Sifat Fisik

Korelasi dilakukan dengan 1 (satu) variabel hingga 2 (dua) variabel.

1. Korelasi Satu Variabel

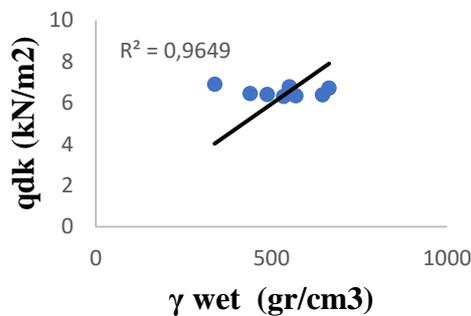
Korelasi antara sifat mekanis dan sifat fisik antara nilai Kadar Air dan Penetrasi (qdk) dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Korelasi antara Kadar Air dengan Penetrasi (qdk)

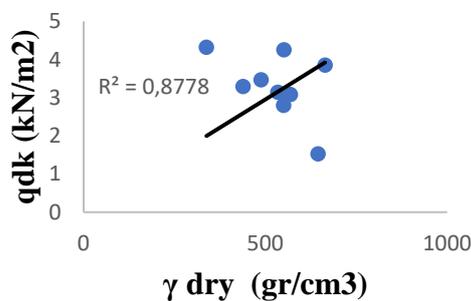
Berdasarkan Gambar 11 korelasi antara Kadar Air dan Penetrasi (qdk) memiliki interpretasi yang sedang dengan nilai $R^2 = 0,2236$. Korelasi antara kadar air dan Penetrasi (qdk) memiliki hubungan yang sedang, Hal ini menunjukkan hubungan antara nilai Penetrasi (qdk) dengan kadar air sangat berpengaruh kepada nilai kadar air tanah tersebut, kadar air tanah yang rendah menunjukkan tanah tersebut semakin padat. Karena itu semakin tinggi nilai kadar air tanah maka nilai Penetrasi (qdk) semakin rendah.

Korelasi antara Berat Volume Basah dan Penetrasi (qdk) dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Korelasi antara Berat Volume Basah dan Penetrasi (qdk)

Berdasarkan Gambar 12 korelasi antara Berat Volume Basah dan Penetrasi (qdk) memiliki interpretasi yang tinggi dengan nilai $R^2 = 0,9649$. Korelasi antara Berat Volume Kering dan Penetrasi (qdk) dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Korelasi antara Penetrasi (qdk) dengan Berat Volume Kering

Berdasarkan Gambar 13 korelasi antara Berat Volume Kering dan Penetrasi (qdk) memiliki interpretasi yang Tinggi dengan nilai $R^2 = 0,8778$.

2. Korelasi Multi Variabel

Korelasi multi variabel antara sifat mekanis dan sifat fisik dengan menggunakan analisis *ToolPak* pada *Microsoft Excel*.

Korelasi antara Penetrasi (qdk), Kadar Air dan Berat Volume Kering dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Korelasi Antara Penetrasi (qdk), Kadar Air dan Berat Volume Kering

Keterangan	Nilai
Multiple R	0,77425
R Square	0,59946
Adjusted R Square	0,46595
Observations	90
Significance F	0,06425
Coefficient Correlation (r)	-1490,370
Coefficient Intercept	5,22361
Coefficient w (%)	413,58266
Coefficient γ dry (gr/cm3)	0,77425

Berdasarkan Tabel 7 Korelasi antara Penetrasi (qdk), Kadar Air dan Berat Volume Kering memiliki interpretasi yang sedang dengan nilai $R^2 = 0,599$. Nilai signifikansi F yang diperoleh sebesar 0,064. Persamaan yang diperoleh dari korelasi di atas adalah sebagai berikut:

$$qdk = -1490,37 + 5,22 w + 413,58 \gamma \text{ dry} \dots (18)$$

KESIMPULAN

1. Nilai kuat geser *vane shear* dominan pada penelitian ini sebesar 16-20 kPa, dengan rentang nilai sebesar 4-34 kPa. Nilai kuat geser *vane shear* dikoreksi berdasarkan nilai PI diperoleh nilai kuat geser yang dominan masih berkisar 11-15 kPa dengan rentang nilai 3-30 kPa.
2. Nilai penetrasi dominan tanah lunak pada penelitian ini sebesar 301-400 kN/m², dengan rentang nilai penetrasi sebesar 158-1430 kN/m², nilai sudut geser dokenbo dominan tanah lunak pada penelitian ini adalah sebesar 21° -25 °, dengan rentang sudut geser sebesar 9-41° dan nilai torsi (T0) dominan tanah lunak pada

- penelitian ini adalah sebesar 0,10-1,50 N.m, dengan rentang torsi sebesar 0,08-1,50 N.m.
3. Korelasi antara penetrasi dan kuat geser *vane shear* didapat nilai R^2 sebesar 0,8674, korelasi antara penetrasi dan kuat geser *vane shear* terkoreksi didapat nilai R^2 sebesar 0,8823, korelasi antara penetrasi dan sudut geser dokenbo didapat nilai R^2 sebesar 0,0346, korelasi antara kuat geser *vane shear* dan torsi (T_0) didapat nilai R^2 sebesar 0,2824 dan korelasi antara kuat geser *vane shear* terkoreksi dan torsi (T_0) didapat nilai R^2 sebesar 0,3169.
 4. Korelasi multi variabel antara penetrasi, sudut geser dalam dokenbo dan kuat geser *vane shear* di dapat nilai R^2 sebesar 0,47908, korelasi multi variabel antara penetrasi, sudut geser dalam dokenbo dan kuat geser *vane shear* terkoreksi di dapat nilai R^2 sebesar 0,61833 dan korelasi multi variabel antara penetrasi, kuat geser *vane shear* dan torsi di dapat nilai R^2 sebesar 0,64264.
 5. Korelasi antara penetrasi dan kadar air memiliki nilai R^2 sebesar 0,0277, korelasi antara penetrasi dan berat volume basah memiliki nilai R^2 sebesar 0,0003 dan korelasi antara penetrasi dan berat volume kering memiliki nilai R^2 sebesar 0,0315. Artinya jika Kadar Air dalam suatu volume tanah meningkat maka nilai penetrasi akan menurun.
 6. Korelasi multi variabel antara penetrasi, kadar air, dan berat volume kering memiliki R^2 sebesar 0,59946, korelasi multi variabel antara penetrasi, kadar air dan berat jenis memiliki R^2 sebesar 0,70720 dan korelasi multi variabel antara penetrasi, berat volume kering dan berat jenis memiliki R^2 sebesar 0,76966.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM (American Society for Testing and Material) D 2216-71, Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by mass, U.S.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D 2573, Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil, U.S.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D 2937-00, Standard Test Methods for Density of Soil in Place by Drive-Cylinder Method, U.S.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D 422-63, Standard Test Method for Particel Size Analysis of Soils, U.S.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D 4318, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, U.S.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D 854, Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, U.S.
- Bowles, E. J. 1989. Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Erlangga. Jakarta.
- Casagrande, A. 1948. Classification and Identification of Soils. Transactions ASCE. Vol. 113.
- Das, B. M. 1991. Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Genetika). Erlangga. Jakarta.
- Das, Braja M, 1994. Mekanika Tanah I. Jakarta : Erlangga.
- Das, Braja M, 1994. Mekanika Tanah II. Jakarta : Erlangga.

- Hardiyatmo, H. C. 2012. *Mekanika Tanah*. I. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Mitchell, J, K. 1979. *Fundamental of Soil Behavior*. John Wiley & Sons.Inc. New York.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. (1987). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd edition, terjemahan Krisna, B. dan Witjaksono, B. Jakarta: Erlangga.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Tim Mekanika Tanah. 2015. *Buku Pedoman Praktikum Mekanika Tanah*. Pekanbaru: Program Studi S1 Teknik Sipil.