

# SKRIPSI

## PREDIKSI JENIS TANAH BERDASARKAN DATA CPT DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA SUPPORT VEKTOR MACHINE (SVM)

Disusun dan diajukan oleh:

**ALYA FACHIRA**

**D011 20 1126**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**



## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### **PREDIKSI JENIS TANAH BERDASARKAN DATA CPT DENGAN MENGUNAKAN ALGORITMA SUPPORT VEKTOR MACHINE (SVM)**

Disusun dan diajukan oleh

**ALYA FACHIRA  
D011 20 1126**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 11 September 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng  
NIP. 196805292002121002

Menyetujui,  
Pembimbing Utama,



Ir. Sitti Hijraini Nur S.T, M.T  
NIP: 197711212005012001



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alya Fachira  
NIM : D011201126  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

{Prediksi Jenis Tanah Berdasarkan Data Cpt Dengan Menggunakan Algoritma Support Vektor Machine (Svm)}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa 2024

Yang Menyatakan



Alya Fachira



## ABSTRAK

**ALYA FACHIRA.** *Prediksi Jenis Tanah Berdasarkan Data Cpt Dengan Menggunakan Algoritma Support Vektor Machine (Svm)* (dibimbing oleh Hijraini Nur)

Tanah merupakan elemen penting dalam konstruksi karena berfungsi sebagai penyangga struktur bangunan. Namun, perbedaan karakteristik dan sifat tanah di berbagai lokasi dapat mempengaruhi daya dukung tanah, yang sering kali menyebabkan masalah seperti penurunan tanah dan keruntuhan pondasi. Oleh karena itu, investigasi dan klasifikasi tanah sangat penting untuk memastikan kestabilan dan keamanan konstruksi. Salah satu metode yang umum digunakan untuk investigasi tanah adalah Cone Penetration Test (CPT). Data CPT menyediakan informasi mengenai jenis dan lapisan tanah, yang digunakan sebagai dasar untuk merencanakan sub-struktur bangunan. Meskipun prosedur laboratorium juga digunakan untuk menentukan sifat geoteknik tanah, metode ini memakan waktu dan sumber daya manusia yang signifikan. Penelitian ini mengembangkan model klasifikasi jenis tanah berdasarkan data CPT menggunakan algoritma Support Vector Machine (SVM). SVM adalah metode machine learning yang efektif untuk klasifikasi, dengan kemampuan untuk memprediksi kelas berdasarkan pola data hasil pelatihan. Dengan menerapkan SVM, sistem ini diharapkan dapat melakukan klasifikasi tanah dengan cepat dan akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi algoritma SVM dalam klasifikasi tanah berdasarkan data CPT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model SVM mampu mengklasifikasikan jenis tanah dengan akurasi yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu dalam analisis dan perencanaan konstruksi.

Kata Kunci : Klasifikasi tanah, *cone penetration test*, *support vector machine*



## ABSTARCK

**ALYA FACHIRA.** Prediction of Soil Types Based on CPT Data Using the Support Vector Machine (SVM) Algorithm (supervised by Hijraini Nur)

Soil is a crucial element in construction as it serves as the foundation for building structures. However, differences in soil characteristics and properties across various locations can affect the soil's bearing capacity, often leading to issues such as soil settlement and foundation failure. Therefore, soil investigation and classification are essential to ensure construction stability and safety. One commonly used method for soil investigation is the Cone Penetration Test (CPT). CPT data provides information on soil types and layers, which is used as a basis for planning the substructure of buildings. Although laboratory procedures are also employed to determine soil geotechnical properties, these methods are time-consuming and require significant human resources. This research develops a soil classification model based on CPT data using the Support Vector Machine (SVM) algorithm. SVM is an effective machine learning method for classification, with the ability to predict classes based on training data patterns. By applying SVM, this system is expected to perform soil classification quickly and accurately. The aim of this research is to evaluate the accuracy of the SVM algorithm in soil classification based on CPT data. The results show that the SVM model can classify soil types with high accuracy, making it a useful tool in construction analysis and planning.

Keywords : Soil Classification, *cone penetration test*, *support vector machine*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTARCK .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Ruang Lingkup / Asumsi Perancangan .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Cone Penetration Test (CPT) .....	6
2.2 Algoritma <i>Support Vektor Machine</i> (SVM) .....	9
2.3 Klasifikasi Tanah .....	10
2.3.1 <i>Unified Soil Classification System (USCS)</i> .....	10
2.3.2 American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).....	12
2.4 Analisis Ukuran Butiran .....	14
2.5 Batas – Batas Atterberg .....	16
Metode Klasifikasi Tanah dengan menggunakan Data CPT.....	21
Penelitian Terdahulu.....	22
<b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>



3.1.	Lokasi Penelitian.....	24
3.2.	Metode Pengumpulan Data.....	25
3.3.	Kerangka Alur Penelitian.....	25
3.4.	Material.....	26
	3.4.1 Tanah Asli .....	26
3.5	Peralatan Pengujian.....	27
	3.5.1 Alat <i>Cone Penetration Test</i> (CPT).....	27
	3.5.2 Alat Pengujian Sifat Fisis.....	27
3.6	Standar Pengujian.....	28
3.7	Pengujian <i>Cone Penetration Test</i> (CPT) .....	28
3.8	Klasifikasi Jenis Tanah berdasarkan Metode USCS .....	29
3.9	Metode Support Vektor Machine .....	29
3.10	Pembuatan Model SVM.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		35
4.1	Klasifikasi Tanah.....	35
4.2	<i>Dataset</i> CPT.....	35
4.3	Klasifikasi Data CPT dengan Algoritma Support Vector Machine.....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		41
6.1	Kesimpulan .....	41
6.2	Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....		43
LAMPIRAN .....		45



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Grafik penentuan gradasi butiran .....	15
Gambar 2. Kurva distribusi ukuran butiran - analisa saringan dan analisa hidrometer .....	16
Gambar 3. Skema batas konsistensi tanah .....	17
Gambar 4 Kurva penentuan batas cair .....	18
Gambar 5 Definisi batas susut.....	20
Gambar 6. Lokasi Pengambilan Sampel & Uji CPT .....	24
Gambar 7. Diagram alur penelitian.....	25
Gambar 8 Sampel Tanah .....	26
Gambar 9. <i>Cone Penetration Test</i> .....	27





## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS .....	11
Tabel 2 Klasifikasi USCS.....	12
Tabel 3. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO.....	13
Tabel 4 Nilai Indeks plastisitas .....	21
Tabel 5. Alat yang Digunakan dalam Pengujian Sifat Fisis .....	27
Tabel 6 Standar Pengujian Sifat Fisis Tanah .....	28
Tabel 7. Pengujian di setiap kedalaman tanah.....	29
Tabel 8. Hasil Klasifikasi Tanah Berdasarkan metode USCS .....	35
Tabel 9. Contoh Dataset CPT .....	36
Tabel 10 Hasil Validasi Model SVM .....	37
Tabel 11 Hasil Klasifikasi USCS & Klasifikasi SVM.....	39



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
SVM	<i>Support vector machine</i>
CPT	<i>Cone penetration test</i>
$q_c$	Penetrasi konus
$f_s$	Perlawanan geser
$f_r$	Rasio gesekan
$T_f$	Geseran total tanah
USCS	<i>Unified soil classification system</i>
AASHTO	<i>American association of state highway and transportation officials</i>
G	Kerikil
S	Pasir
M	Lanau
C	Lempung
GW	Kerikil bergradasi baik
GP	Kerikil bergradasi buruk
SW	Pasir bergradasi baik
SP	Pasir bergradasi buruk
ML	Lanau dengan plastisitas rendah
CL	Lempung dengan plastisitas tinggi
MH	Lanau dengan plastisitas tinggi
CH	Lempung dengan plastisitas tinggi
O	Organik
Pt	Gambut
$v$	Kecepatan pengendapan
$\gamma_s$	Berat volume partikel tanah
	Berat volume air
	Kekentalan air
	Dimensi partikel tanah



LL	Batas cair
PL	Batas plastis
SL	Batas susut
PI	Indeks plasstisitas
WN	Kadar air pada n tumbukan
N	Jumlah ketukan
$W_1$	Berat tinbox kosong
$W_2$	Berat tinbox + tanah basah
$W_3$	Berat tinbox + tanah kering
$W_i$	Kadar air
$\Delta w$	Perubahan kadar air sebelum pengurangan volume
SVC	Support vector classification



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengujian Aalisa Saringan.....	45
Lampiran 2 Data Pengujian Analisa Hidrometer.....	52
Lampiran 3 Data Pengujian Atterberg .....	57
Lampiran 4 Dataset CPT .....	62
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian.....	67



## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul " **PREDIKSI JENIS TANAH BERDASARKAN DATA CPT DENGAN MENGGUAKAN ALGORITMA SUPPORT VEKTOR MACHINE**" yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., MT. IPM.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof.Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Eng Bambang Bakri, S.T., M.T** selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Ibu Ir.Sitti Hijraini Nur S.T., M.T** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. **Bapak Prof.Dr. Ir. Abd. Rahman Djamaluddin, M.T** selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan selama penelitian.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Hasrun Sanggala** dan ibunda **Almh Hj. Hamsiah** untuk beliau lah saya persembahkan tugas akhir ini. Terima kasih kasih sayang yang tidak terhingga dalam membesarkan, membimbing penulis ini sehingga terus berjuang dalam mencapai segala hal peulis cita-citakan.



Terima kasih atas doa, bantuan dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. **Nurhaerya dan Ikhsan Sugiarto** sebagai saudara tercinta dan teman seumur hidup yang selalu mendukung, tidak henti memberikan dukungan, motivasi, semangat, kasih sayang serta selalu mengusahakan yang terbaik untuk penulis agar dapat melalui masa perkuliahan tanpa bimbingan seorang ibu. Terima kasih juga sya ucapkan atas doa yang tiada hentinya agar penulis daat menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan lancar.
3. **Muhammad Zydane B** sebagai partner penulis yang telah hadir, terima kasih telah menjadi bagian perkuliahan penulis dan telah berkontribusi banyak dalam penulisan tugas akhir ini, memberikan dukungan, semangat tenaga, pikiran, maupun waktu untuk penulis. Terima kasih juga telah mendukung, menghibur dan mendengarkan keluh kesah, dan memberikan semangat untuk tidak menyerah dalam penulisan tugas akhir ini.
4. **Ibu Nurhasanah** selaku mahasiswa S3 yang telah memberikan bantuan dan dukungan penuh kepada penulis untuk segera menyelesaikan skripsi ini, serta telah memberikan pencerahan dalam mengolah data maupun penyusunan skripsi ini.
5. **Melda Batara** selaku partner dalam penelitian tugas akhir ini, yang tiada henti memberikan semangat, dukungan serta doa dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. **Salsa, Thiya, Yusriah, Tiara, Febi, Dina, May dan Fani** sebagai teman yang turut mewarnai masa perkuliahan penulis, selalu membantu dan memberikan dukungan agar oenulis tetap semangat dan pantang menyerah dalam perkuliahan.
7. Rekan-rekan di **Laboratorium Mekanika Tanah serta Seperjuangan KKD GEOTEKNIK 2020** yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Saudara-saudari **ENTITAS 2021** yang senantiasa memberikan warna yang begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari n, oleh karena itu penulis mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.



Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, Maret 2024

Penulis



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan bagian terpenting dari suatu konstruksi, karena tanah mempunyai fungsi sebagai penyangga konstruksi atau dengan kata lain tanah inilah suatu konstruksi bertumpu. Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel padat tersebut (Das dkk, 2010).

Tanah selalu memiliki peranan pada setiap lokasi pekerjaan konstruksi. Hal ini dikarenakan tanah ini merupakan bagian dari struktur bawah (pondasi) yang menerima semua beban bangunan yang akan didirikan di atasnya. Akan tetapi, sering dijumpai beberapa kasus dimana lokasi memiliki daya dukung tanah yang kurang baik, sehingga sulit untuk membangun sebuah konstruksi di atas tanah tersebut. Berdasarkan letak geografis suatu tempat jenis tanah, karakteristik dan sifat tanah, tidak semua jenis tanah itu sama sehingga belum tentu tanah tersebut baik digunakan untuk pendukung kekuatan struktur konstruksi. Tidak mengherankan apabila kita sering melihat naik turunnya tanah pada pondasi bangunan maupun jalan raya yang diakibatkan penurunan tanah (*deformasi*).

Daya dukung tanah dinyatakan dengan benar ketika pondasi dapat meneruskan beban di atasnya ke dalam tanah tidak terjadi penurunan yang berarti ketika kekuatan tanah tersebut kurang atau lemah maka akan terjadi penurunan (*settlement*) yang drastis bahkan terjadinya keruntuhan pada tanah yang akan mengakibatkan konstruksi di atasnya runtuh (Eka Priadi, dan Budhi Purwoko, 2016).

Investigasi tanah di lapangan atau laboratorium sangat penting agar dapat mengetahui sifat-sifat tanah yang nantinya menjadi tumpuan konstruksi sendiri, sehingga dalam perencanaan dapat menganalisis pondasi dengan





baik. Klasifikasi tanah adalah ilmu yang berhubungan dengan kategori tanah berdasarkan karakteristik yang membedakan masing-masing jenis tanah. Klasifikasi tanah merupakan sebuah subjek yang dinamis yang mempelajari struktur dari sistem klasifikasi tanah, definisi dari kelas-kelas yang digunakan untuk penggolongan tanah, kriteria yang menentukan penggolongan tanah, hingga penerapannya di lapangan.

CPT (Cone Penetration Test) atau terbiasa dengan istilah sondir adalah suatu metode investigasi tanah yang banyak digunakan untuk memperoleh informasi tanah di lapangan. Data-data mengenai jenis tanah dan lapisan-lapisannya merupakan dasar untuk merencanakan sub-struktur sehingga sepenuhnya dapat menopang struktur di atasnya. Selain itu Prosedur Laboratorium untuk menentukan suatu sifat geoteknik tanah juga dibutuhkan dalam melakukan pengklasifikasi tanah, namun Prosedur Laboratorium memakan waktu yang cukup lama dan memerlukan sumber daya manusia.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk klasifikasi adalah Support Vector Machine (SVM). Support Vector Machine merupakan salah satu metode klasifikasi dengan menggunakan metode machine learning (supervised learning) yang memprediksi kelas berdasarkan pola dari hasil proses training yang diciptakan oleh Vladimir Vapnik dan memiliki nilai akurasi yang cukup tinggi. Dengan diterapkannya metode SVM, sistem ini diharapkan dapat melakukan sentiment analysis dengan cepat, mudah, dan dengan tingkat akurasi serta efektivitas yang cukup tinggi.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental terkait bagaimana akurasi dari suatu algoritma Support Vektor Machine dalam melakukan suatu klasifikasi tanah dan penulis tuangkan dalam penelitian yang berjudul **“PREDIKSI JENIS TANAH BERDASARKAN DATA CPT DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA SUPPORT VEKTOR MACHINE”**



### Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengklasifikasian jenis tanah berdasarkan data analisis butiran dengan menggunakan metode USCS?
2. Bagaimana Pengklasifikasian jenis tanah dengan data CPT berdasarkan algoritma *Support Vektor Machine*?
3. Bagaimana akurasi dari algoritma *Support Vektor Machine* dalam melakukan pengklasifikasian jenis tanah?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengklasifikasikan secara manual jenis tanah berdasarkan data analisis butiran dengan menggunakan metode USCS.
2. Pengklasifikasikan jenis tanah dengan data CPT berdasarkan algoritma *Support Vector Machine*
3. Mengevaluasi akurasi dari algoritma *Support Vektor Machine* dalam melakukan pengklasifikasian jenis tanah

### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan sebagai bahan acuan dalam pemberian informasi yang efektif, efisien dan berkelanjutan
2. Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan permasalahan tersebut.

### 1.5 Ruang Lingkup / Asumsi Perancangan

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan lebih terarah dan fokus pada tujuan penelitian yang ingin dicapai maka perlu dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini adalah penelitian skala laboratorium
2. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sample tanah asli yang

terlokasi di Desa Bontoramba, Kecamatan Somba Opu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.



3. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian analisis butiran pada tanah untuk menentukan klasifikasi tanah dengan menggunakan metode USCS.
4. Penelitian hanya meneliti sifat fisis tanah
5. Sifat-sifat fisis yang dianalisis adalah:
  - a. Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer
  - b. Pengujian batas-batas Atterberg
6. Penelitian ini menggunakan 3 data sondir untuk dijadikan data dalam melakukan uji coba klasifikasi dengan menggunakan algoritma SVM

## 1.6 Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga tugas akhir yang dihasilkan lebih sistematis.

Sistematika penulisan penelitian ini dapat diurutkan yaitu:

### BAB I PENDAHULUAN

Pokok-pokok bahasan dalam bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian ini. Bab ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

### BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari lapangan maupun dari laboratorium.



#### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil dari klasifikasi dengan menggunakan metode Algoritma SVM

#### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Cone Penetration Test (CPT)

Menurut Das (2010), Cone Penetration Test (CPT) adalah salah satu metode investigasi tanah in-situ yang paling penting dan umum digunakan di dunia. Metode ini dikembangkan pertama kali di Belanda pada tahun 1932 oleh Prof. Barentsen. Das menjelaskan bahwa CPT memberikan informasi langsung tentang sifat-sifat geoteknik tanah di bawah permukaan tanah, seperti kepadatan, kekuatan geser, dan karakteristik hidrolik tanah. Metode ini menggunakan alat berupa probe berbentuk kerucut yang didorong ke dalam tanah dengan kecepatan yang diketahui, sambil terus diukur gaya yang diperlukan untuk mendorong probe tersebut ke dalam tanah. Das juga menjelaskan bahwa CPT dapat dilakukan hingga kedalaman yang besar, biasanya lebih dari 100 meter, dan memberikan profil tanah yang kontinu serta data yang akurat untuk digunakan dalam desain konstruksi geoteknik. CPT merupakan metode yang digunakan untuk menentukan sifat rekayasa geoteknik tanah dan menggambarkan stratigrafi tanah. Saat ini, CPT adalah salah satu metode tanah yang paling banyak digunakan dan diterima untuk penyelidikan tanah di seluruh dunia. Dari metode penyelidikan tanah ini didapatkan nilai perlawanan penetrasi konus ( $q_c$ ) dan hambatan lekat atau perlawanan geser ( $f_s$ )

Hari Dwi Wahyudi (2018) mengatakan bahwa, selain diperoleh data nilai perlawanan penetrasi konus ( $q_c$ ), dan hambatan lekat atau perlawanan geser ( $f_s$ ), dari hasil uji sondir juga diperoleh data rasio gesekan ( $f_r$ ), dan geseran total tanah ( $T_f$ ), yang dapat digunakan untuk interpretasi lapisan tanah.

- a. Nilai Perlawanan Penetrasi Konus ( $q_c$ ) Perlawanan penetrasi konus ( $q_c$ ) adalah nilai perlawanan terhadap gerakan penetrasi konus yang besarnya sama dengan gaya vertikal yang bekerja pada konus dibagi dengan luas ujung konus.



- b. Hambatan Lekat Atau Perlawanan Geser ( $f_s$ ) Hambatan lekat atau perlawanan geser ( $f_s$ ) merupakan nilai perlawanan terhadap gerakan penetrasi akibat geseran yang besarnya sama dengan gaya vertikal, yang bekerja pada bidang geser dibagi dengan luas permukaan selimut geser, perlawanan ini terdiri atas jumlah geseran dan gaya adhesi.
- c. Rasio Gesekan ( $R_f$ )  
Merupakan nilai yang diperoleh dari perbandingan antara nilai perlawanan geser dengan nilai perlawanan penetrasi konus ( $f_s/q_c$ ), yang dinyatakan dalam persen.
- d. Geseran Total Tanah ( $T_f$ )  
Nilai geseran total merupakan nilai tahanan atau tegangan geser maksimum yang dapat ditahan oleh tanah pada kondisi pembebanan tertentu.

Menurut Bengt H. Fellenius, pengumpulan data Cone Penetration Test (CPT) melibatkan beberapa tahap penting seperti:

1. Persiapan Sebelum Pengujian: Sebelum melakukan pengujian CPT, lokasi pengujian harus dipilih dengan hati-hati untuk memastikan representativitas hasil. Alat dan peralatan yang digunakan juga harus disiapkan dan diperiksa untuk memastikan bahwa semuanya berfungsi dengan baik.
2. Pemasangan Probe CPT: Probe CPT dipasang ke dalam tanah menggunakan rig bor. Pengujian dimulai dengan mendorong probe ke dalam tanah dengan kecepatan yang konstan sambil terus memonitor gaya dorong yang diperlukan untuk mendorong probe tersebut ke dalam tanah.
3. Pengukuran Data CPT: Selama proses pengujian, data yang diukur meliputi resistansi kerucut ( $q_c$ ), tekanan pori ( $u_2$ ), dan panjang kerucut yang telah masuk ke dalam tanah. Data ini diukur pada interval yang teratur saat probe CPT mendorong ke dalam tanah.



4. Analisis Data CPT: Setelah pengujian selesai, data CPT dianalisis untuk mengevaluasi sifat-sifat geoteknik tanah di bawah permukaan. Hal ini melibatkan interpretasi data untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik tanah.

Berbicara mengenai analisis data CPT T. Lunne, J.J.M. Powell, dan P.K. Robertson mengatakan bahwa terdapat beberapa langkah analisis yang dapat dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang sifat-sifat tanah di bawah permukaan tanah dari data Cone Penetration Test (CPT). Berikut adalah langkah-langkah tersebut:

1. Interpretasi Visual Kurva CPT: Melalui interpretasi visual kurva CPT, Anda dapat mengidentifikasi lapisan-lapisan tanah berdasarkan perubahan pola resistansi kerucut ( $q_c$ ) dan tekanan pori ( $u_2$ ) terhadap kedalaman. Perubahan tajam dalam nilai  $q_c$  atau  $u_2$  dapat mengindikasikan perubahan jenis atau sifat tanah.
2. Identifikasi Lapisan Tanah: Dengan memperhatikan pola kurva, lapisan-lapisan tanah yang berbeda dapat diidentifikasi. Perubahan dalam nilai  $q_c$  dan  $u_2$  dapat mengindikasikan perubahan dalam jenis atau sifat tanah.
3. Perhitungan Parameter Geoteknik: Data CPT dapat digunakan untuk menghitung parameter geoteknik penting seperti kuat geser tanah ( $s_u$ ), modul elastisitas tanah ( $E_s$ ), dan kapasitas dukung tanah ( $q_{ult}$ ). Metode perhitungan ini bervariasi tergantung pada formula atau korelasi yang digunakan.
4. Pemodelan Lapisan Tanah: Dengan menggunakan data CPT, Anda dapat memodelkan lapisan-lapisan tanah di bawah permukaan tanah menggunakan perangkat lunak pemodelan geoteknik. Ini memungkinkan Anda untuk memvisualisasikan distribusi sifat-sifat tanah secara lebih detail.

Analisis Korelasi dengan Parameter Lain: Data CPT dapat dikorelasikan dengan parameter tanah lainnya, seperti data laboratorium atau data



pengujian lapangan lainnya, untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang sifat tanah di lokasi tersebut.

6. Analisis Statistik: Analisis statistik dapat dilakukan untuk mengidentifikasi tren atau pola dalam data CPT. Ini dapat membantu dalam memahami karakteristik geoteknik tanah secara lebih luas.
7. Model Numerik: Data CPT juga dapat dimasukkan ke dalam model numerik untuk analisis yang lebih lanjut, seperti pemodelan stabilitas lereng atau perencanaan pondasi.

## 2.2 Algoritma *Support Vector Machine* (SVM)

SVM merupakan salah satu metode klasifikasi dengan menggunakan metode machine learning (supervised learning) yang memprediksi kelas berdasarkan pola dari hasil proses training yang diciptakan oleh Vladimir Vapnik. Klasifikasi dilakukan dengan garis pembatas (hyperlane) yang memisahkan antara kelas opini positif dan opini negatif. Secara intuitif, suatu garis pembatas yang baik adalah yang memiliki jarak terbesar ke titik data pelatihan terdekat dari setiap kelas, karena pada umumnya semakin besar margin, semakin rendah error generalisasi dari pemilah. Margin adalah jarak dari suatu titik vektor di suatu kelas terhadap hyperplane.

Menurut X. Huang dkk (2013) SVM berusaha untuk membuat pemisahan yang sebaik mungkin antara dua kelas data dengan memaksimalkan margin, sehingga meminimalkan risiko overfitting. SVM juga dapat menggunakan fungsi kernel untuk mengubah ruang fitur asli ke ruang fitur yang lebih kompleks, yang memungkinkan SVM untuk menangani data yang tidak linear secara efektif. Dalam konteks regresi, SVM berusaha untuk menemukan hyperplane yang dapat memprediksi nilai target yang kontinu sebaik mungkin. SVM regresi juga menggunakan margin, tetapi dalam konteks ini margin menentukan seberapa besar deviasi diperbolehkan dalam prediksi. Secara umum, SVM dikenal karena kemampuannya dalam menangani data yang kompleks dan dalam mengatasi





masalah overfitting. Meskipun SVM relatif sederhana dalam konsepnya, namun dapat memberikan performa yang baik dalam berbagai masalah pembelajaran mesin.

SVM dapat digunakan secara efektif dalam memprediksi parameter teknik sipil yang penting. Seperti kekuatan beton, kekuatan tanah, atau bahkan perilaku seismik suatu struktur. SVM ini juga dapat membantu kita dalam menganalisis data yang kompleks, pengenalan pola dan prediksi yang akurat dalam berbagai situasi teknik sipil. Namun SVM sendiri memiliki kelemahan yaitu, pada saat kompleksitas yang tinggi data training bisa menjadi komputasi yang memakan waktu, terutama ketika jumlah sampel data atau jumlah fitur sangat besar, Svm juga memerlukan parameter yang tepat tidak efisien untuk data yang besar dan rentan terhadap noise sehingga dapat mempengaruhi kinerja model nantinya (M. Mousavi dkk 2015)

## 2.3 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah sistem pengelompokan tanah berdasarkan sifat-sifat tertentu untuk memudahkan deskripsi, pemahaman, dan penggunaan informasi tentang tanah. Sistem klasifikasi tanah dibuat dengan tujuan untuk memberikan informasi karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Kalisifikasi tanah juga berguna untuk studi yang terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan penguji untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (Bowles, dkk)

Menurut Hari Eswaran, Frederick H. Beinroth, dan J. L. Rekha (2002) sistem klasifikasi yang sering digunakan dalam bidang Teknik Sipil adalah metode USCS dan AASTHO.

### 2.3.1 *Unified Soil Classification System (USCS)*

USCS (Unified Soil Classification System) adalah sistem klasifikasi tanah yang dirancang untuk memberikan deskripsi yang konsisten tentang tanah berdasarkan ukuran partikel dan karakteristik plastisitasnya. Sistem



ini awalnya dikembangkan oleh Arthur Casagrande untuk digunakan dalam proyek-proyek teknik sipil dan konstruksi militer. USCS mengklasifikasikan tanah menjadi 2 kategori utama, yaitu:

1. Butir Kasar: Termasuk kerikil (G) dan pasir (S). Kategori ini dibagi lebih lanjut berdasarkan distribusi ukuran partikel dan karakteristik kebersihan (cleanliness).
  - GW: Kerikil bergradasi baik
  - GP: Kerikil bergradasi buruk
  - SW: Pasir bergradasi baik
  - SP: Pasir bergradasi buruk
2. Butir Halus: Termasuk lanau (M) dan lempung (C). Kategori ini dibagi lebih lanjut berdasarkan batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI).
  - ML: Lanau dengan plastisitas rendah
  - CL: Lempung dengan plastisitas rendah
  - MH: Lanau dengan plastisitas tinggi
  - CH: Lempung dengan plastisitas tinggi

Kelompok kelompok tanah utama sistem klasifikasi USCS dapat dilihat pada **Tabel 1**

**Tabel 1** Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Jenis Tanah	Prefiksi	Sub kelompok	Sufiksi
Kerikil	G	Gradasi Baik	W
		Gradasi Buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	$W_2 < 50\%$	L
		$W_2 > 50\%$	H
Organik	O		
Ambut	Pt		

Sumber: Djarwanti dkk, 2009



Tabel 2 Klasifikasi USCS

Klasifikasi Umum		Symbol klasifikasi	Nama Jenis	Kriteria klasifikasi
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50 % tertahan pada ayakan 4.76 mm	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada saringan 4.76 mm	Kerikil Bersih	GW	Krikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran krikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus
			GP	Krikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran krikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus
	Kerikil berbutir halus	GM	Kerikil berlanau, campuran krikil, pasir dan lanau	
		GC	Kerikil berlempung, campuran krikil, pasir dan lempung	
	50 % atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4.76 mm	Pasir bersih	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan krikil, tanpa atau sedikit butiran halus
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan krikil, tanpa atau sedikit butiran halus
Pasir berbutir halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau	
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung	
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50 % lolos pada ayakan 75 µ	Lanau dan lempung LL ≤ 50	ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu padas, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari krikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung dengan viskositas rendah	
	Lanau dan lempung LL > 50	OL	Lanau organik dengan plastisitas rendah dan lempung berlanau organik	
		MH	Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mika atau ganggang (diatomae) lanau elastis	
		CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi	PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkadar organik tinggi lainnya		

Klasifikasi berdasarkan pada persentase butiran halus  
 50 % atau kurang: GW, GP, SW, P  
 Lebih dari 12%: GM, GC, SM, S  
 0 % - 12 %: Batasan klasifikasi yang mempunyai 1 simbol ganda

Uc =  $\frac{D_{60}}{D_{10}}$  lebih besar dari 4

Uc' =  $\frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{30}}$  bernilai antara 1 - 3

Tidak sesuai dengan kriteria GW

Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4

Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7

Uc =  $\frac{D_{60}}{D_{10}}$  lebih besar dari 6

Uc' =  $\frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{30}}$  bernilai antara 1 - 3

Tidak sesuai dengan kriteria SW

Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4

Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7

Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir di diagram dibawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan

Diagram plastisitas untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah (4 - 7 atau CL - ML) berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol

Sumber: (ASTM D 2487 - 66T)

### 2.3.2 American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) mengembangkan sistem klasifikasi tanah yang dirancang khusus untuk keperluan perkerasan jalan dan proyek transportasi. Sistem ini berfokus pada kemampuan tanah untuk mendukung dan menahan beban lalu lintas. AASHTO



mengklasifikasikan tanah menjadi 7 kelompok utama (A-1 hingga A-7) berdasarkan ukuran partikel dan sifat plastisitas. Setiap kelompok memiliki subkelompok yang lebih spesifik.

- A-1: Tanah berpasir dan kerikil, cocok untuk bahan perkerasan.
- A-2: Campuran pasir, kerikil, dan lanau/lempung.
- A-3: Pasir halus.
- A-4 hingga A-7: Tanah lanau dan lempung, dengan A-7 sebagai yang paling plastis dan kurang cocok untuk bahan perkerasan tanpa perlakuan tambahan.

Menurut Hari Eswara dkk baik USCS maupun AASHTO memberikan kerangka kerja yang komprehensif untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan sifat-sifat fisik dan mekanis yang relevan untuk aplikasi teknik sipil dan transportasi. USCS lebih umum digunakan untuk berbagai jenis proyek teknik sipil, sementara AASHTO lebih spesifik untuk keperluan perkerasan jalan dan transportasi.

**Tabel 3.** Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO



General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No.200)						
Group classification	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10	50 max						
No. 40	30 max	50 max	51 min				
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit				40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min
Usual types of significant constituent materials	Stone, fragments, gravel and sand		Fine sand	Silt or clayey gravel, and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						
General classification	Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No.200)						A-7
Group classification	A-4		A-5		A-6		A-7-5
							A-7-6
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10							
No. 40							
No. 200	36 min		36 min		36 min		36 min
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit	40 max		40 min		40 max		41 min
Plasticity index	10 max		10 max		11 min		11 min
Usual types of significant constituent materials	Silty soil				Clayey soils		
General subgrade rating	Fair to poor						

\*For A-7-5,  $PI < LL - 30$

\*For A-7-6,  $PI > LL - 30$

Sumber: Das 2018

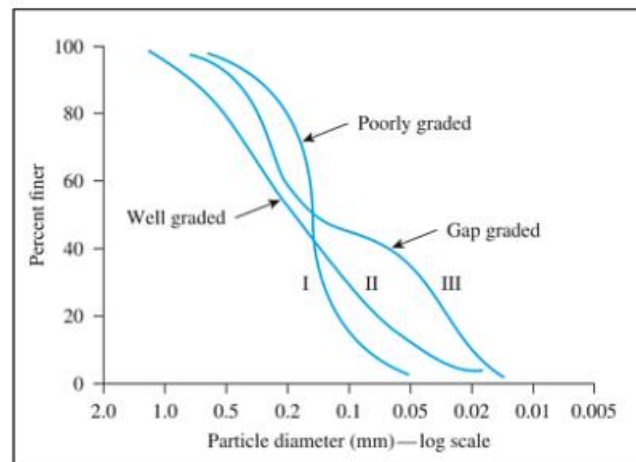
## 2.4 Analisis Ukuran Butiran

Sifat Tanah dipengaruhi juga oleh ukuran butirannya. Ukuran butiran dapat dijadikan dasar dalam menentukan nama dan klasifikasi jenis tanah, Menurut Hardiyatmo, 2002, analisis ukuran butiran merupakan penentuan presentase berat butiran pada suatu unit saringan dengan diameter lubang tertentu. Adapun metode yang digunakan adalah metode analisa saringan dan metode analisa hidrometer.

### 1. Analisa Saringan

Menurut Das 2018 Menurut Das (2018) analisa saringan merupakan proses yang menggetarkan sampel tanah melalui satu set saringan yang memiliki diameter lubang yang berbeda-beda. Setelah proses analisa saringan selesai, tanah yang telah tertahan di tiap nomor saringan d timbang satu per satu.





**Gambar 1** Grafik penentuan gradasi butiran  
Sumber: Das.2018

## 2. Analisa Hidrometer

Menurut Das (2018), analisa hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butiran tanah yang ada dalam air. Tujuan dari analisis hidrometer untuk mengetahui pembagian ukuran butiran tanah berbutir halus. Partikel tanah yang berbentuk bola (bulat) dan kecepatan mengendapnya dinyatakan dalam persamaan berikut dengan menggunakan hukum Stokes sebagai berikut:

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D \quad (1)$$

dimana,

$v$  = Kecepatan Pengendapan

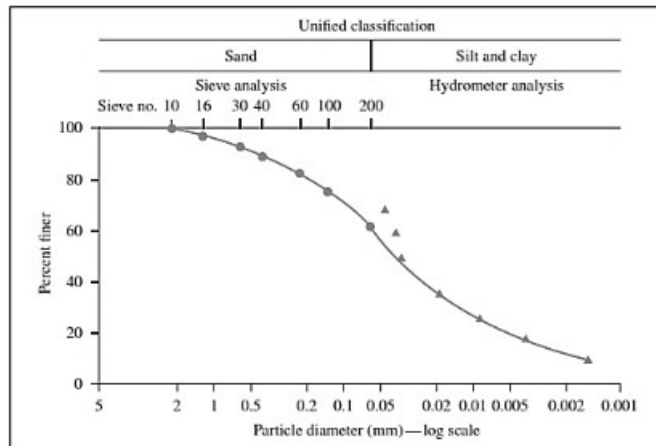
$\gamma_s$  = Berat volume partikel tanah

$\gamma_w$  = Berat volume air

$\eta$  = Kekentalan air

$D$  = Diameter partikel tanah





**Gambar 2.** Kurva distribusi ukuran butiran - analisa saringan dan analisa hidrometer  
Sumber: Das, 2018

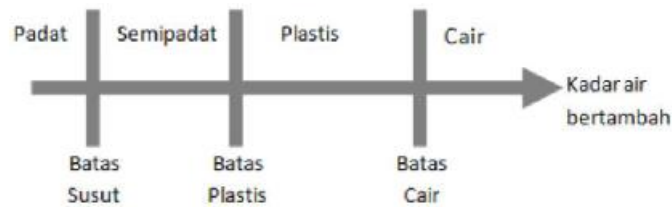
## 2.5 Batas – Batas Atterberg

Konsistensi tanah lempung berubah seiring dengan perubahan kadar airnya. Tanah lempung akan menjadi lebih lunak bila kadar airnya meningkat dan sebaliknya akan mengeras bila kadar airnya berkurang. Pada volume butiran tanah (solid) yang konstan, bila kadar air di dalam tanah lempung tersebut relatif besar, maka tanah lempung menjadi lumpur (slurry) yang bersifat seperti cairan yang kental (viscous liquid), dan kondisi ini disebut fase cair (liquid state). Sebaliknya bila kadar air di dalam tanah lempung dibiarkan menguap sedikit demi sedikit, maka tanah lempung mulai mengeras dan mempunyai kemampuan untuk menahan perubahan bentuk. Kondisi ini dinamakan fase plastis (plastic state). Jika kadar air dibiarkan menguap lebih lanjut, maka tanah lempung mengalami penyusutan (shrink), kaku (stiff), dan mudah retak (brittle). (Setyo, 2011)

Batas cair dan batas plastis tidak secara langsung memberi angka-angka yang dapat dipakai dalam perhitungan desain. Yang kita peroleh dari percoaan Atterberg limit ini adalah gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Tanah yang batas cairnya tinggi



biasanya mempunyai sifa-sifat teknis yang buruk, yaitu kekuatannya rendah, kompresibilitasnya tinggi dan sulit dalam pematatannya.



**Gambar 3.** Skema batas konsistensi tanah

Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Kedudukan tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan batas susut (*shrinkage limit*).

#### 1. Batas Cair (*liquid limit*)

Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis atau kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis (yaitu batas atas atau daerah plastis) atau menyatakan kadar air minimum dimana tanah masih dapat mengalir dibawah beratnya. Cara menentukannya adalah dengan menggunakan alat Cassagrande. Tanah yangtelah dicampur dengan air ditaruh di dalam mangkuk Cassagrande dan di dalamnya dibuat alur dengan menggunakan alat spatel (*groovingtool*). Bentuk alur sebelum dansesudah percobaan tampak berbeda. Engkol dibuka sehingga mangkuk dinaikkan dan dijatuhkan pada dasar dan banyaknya pukulan dihitung sampai kedua tepi alur tersebut berhimpit. Biasanya percobaan ini dilakukan terhadap beberapa contoh tanah dengan kadar airberbeda dan banyaknya pukulan dihitung untuk masing-masing kadar air (Dasdkk,1995). Hubungan kadar air dan jumlah pukulan akan





digambarkan pada gambar 4. (Missapi, 1995) membuat persamaan seperti persamaan berikut:

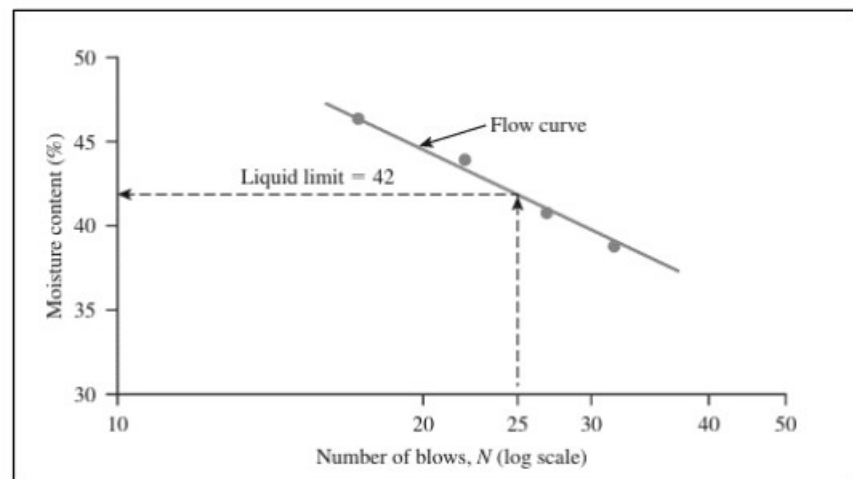
$$LL = W_N(\%) \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121} \quad (2)$$

dimana,

LL = Batas cair tanah

$W_N$  = Kadar air pada N tumbukan

N = Jumlah ketukan



**Gambar 4** Kurva penentuan batas cair  
Sumber: Das,2016

## 2. Batas Plastis (*plastic limit*)

Batas plastis adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm (1/8 inchi). Kadar air ini ditentukan dengan menggiling tanah pada plat kaca hingga diameter dari batang yang dibentuk mencapai 1/8 inchi. Bilamana tanah mulai pecah pada saat diameternya 1/8 inchi, maka kadar air tanah itu adalah batas plastis. Perhitungan batas plastis dapat dilihat pada persamaan:

$$PL = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100\% \quad (3)$$



dimana,

PL = Batas plastis

$W_1$  = Berat tinbox kosong

$W_2$  = Berat tinbox + tanah basah

$W_3$  = Berat tinbox + tanah kering

### 3. Batas Susut (*shrinkage limit*)

Batas susut (SL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air di mana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dalam air raksa. Batas susut dinyatakan dalam persamaan

$$SL = w_i (\%) - \Delta w (\%) \quad (4)$$

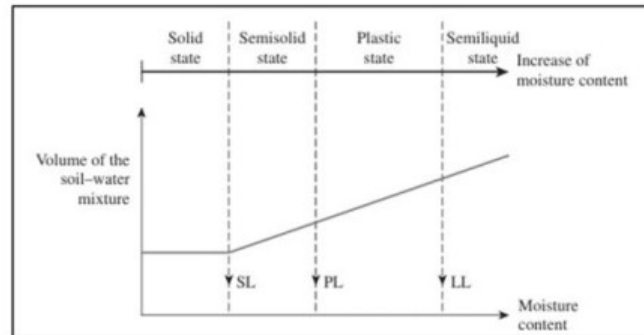
dimana,

SL = Batas susut

$w_i (\%)$  = Kadar air

$\Delta w (\%)$  = Perubahan kadar air sebelum pengurangan volume





**Gambar 5** Definisi batas susut  
Sumber: Das, 2018

#### 4. Indeks plastisitas

Selisih antara batas cair dan batas plastis maka dikatakan tanah tersebut dalam keadaan plastis (*plasticity index*). Untuk melihat sifat keplastisan tanah diperlukan indeks plastisitas (PI) yang merupakan selisih batas cair dan batas plastis. Jika nilai indeks plastisitas tinggi maka tanah mengandung mineral lempung, begitupun sebaliknya jika nilai indeks plastisitasnya rendah maka tanah tersebut adalah lanau atau pasir. Untuk menentukan nilai PI dapat menggunakan persamaan.

$$PI = LL - PL \quad (5)$$

dimana,

PI = Indeks Plastisitas

LL = Batas Cair

PL = Batas Plastis



**Tabel 4** Nilai Indeks plastisitas

PI	Description
0	Nonplastic
1-5	Slightly plastic
5-10	Low plasticity
10-20	Medium Plasticity
20-40	High plasticity
> 40	Very high plasticity

Sumber: Das, 2018

## 2.6 Metode Klasifikasi Tanah dengan menggunakan Data CPT.

Menurut Lyesse Laloui Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan data Cone Penetration Test (CPT). Beberapa metode yang umum digunakan termasuk:

1. Penggunaan Threshold Values: Metode ini melibatkan menetapkan nilai-nilai ambang untuk parameter-parameter CPT tertentu (seperti nilai kekuatan uji  $q_c$ ) untuk membedakan antara jenis-jenis tanah yang berbeda. Misalnya, nilai  $q_c$  di bawah nilai tertentu mungkin menunjukkan tanah lempung, sementara nilai  $q_c$  di atas nilai tersebut menunjukkan tanah pasir.
2. Penggunaan Indeks Klasifikasi: Beberapa penelitian menggunakan indeks klasifikasi berdasarkan parameter-parameter CPT untuk mengklasifikasikan tanah. Contohnya adalah penggunaan Indeks Penetrasi Konus (CPI) atau Indeks Kekakuan Konus (CSI) yang menggabungkan nilai  $q_c$  dengan parameter lain seperti kedalaman atau gaya geser kritis.
3. Penggunaan Metode Pembelajaran Mesin (Machine Learning): Beberapa penelitian menggunakan algoritma pembelajaran mesin seperti Support Vector Machine (SVM), Decision Tree, atau Random Forest untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan data



CPT. Metode ini dapat mempelajari pola kompleks dalam data CPT dan membuat prediksi klasifikasi tanah yang akurat.

4. Penggunaan Metode Geostatistik: Metode ini melibatkan pemodelan spasial dari parameter-parameter CPT untuk mengidentifikasi batas antara jenis-jenis tanah yang berbeda. Ini dapat membantu dalam menentukan distribusi spasial tanah berbeda di lokasi penelitian.

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ayele Tesema Chala dan Richard Ray tentang Assessing the Performance of Machine Learning Algorithms for Soil Classification Using Cone Penetration Test Data, penelitian ini menggunakan beberapa algoritma yaitu Algoritma Artificial Neural Network Model yang mengambil inspirasi dari struktur dan fungsi suatu otak manusia, dimana mereka terdiri dari neuron yang saling berhubungan yang menggunakan koneksi berbobot untuk memproses suatu informasi, Model ini mempelajari hubungan dan data dengan memodifikasikan kekuatan koneksi berdasarkan input dan output. Pada penelitian ini model ANN mencapai akurasi sebesar 98,39%.

Kemudian algoritma kedua yaitu Random Forest Model, penelitian ini menyempurnakan hyperparameter model, termasuk jumlah variabel yang diambil secara acak pada setiap pemisah pohon keputusan, metode ini menggunakan teknik optimasi Bayesian berbasis model dimana performanya dievaluasi dengan menggunakan validasi silang dan memilih nilai hyperparameter optimal berdasarkan performa terbaiknya, model ini memiliki akurasi sebesar 99,23%, ketiga adalah Decision Tree Model. Model ini merupakan algoritma non-parameterik yang dapat menangani kumpulan data besar dan kompleks tanpa memaksakan struktur parametrik yang kaku, model ini memiliki akurasi 95,67%.

Selanjutnya adalah algoritma SVM, algoritma ini beroperasi dengan menemukan hyperplane optimal yang memisahkan titik data



masuk ke dalam kelas yang berbeda. Hyperplanen menempatkan dirinya dengan memaksimalkan margin, yaitu jarak antara hyperplane dan titik data terdekat dari setiap kelas. Pada penelitian ini melatih model menggunakan data pelatihan dan menilai efektivitasnya pada data pengujian. Untuk memastikan model yang disesuaikan dan digeneralisasikan dengan baik, kemudian menggunakan validasi silang untuk mengoptimalkan hyper-parameter.

Penelitian ini mengumpulkan data CPT kemudian memproses dataset dengan menggunakan MS Excel dan melakukan klasifikasi tanah dengan menggunakan klasifikasi Robertson kemudian membagi data latih dan uji dengan menggunakan rasio 80:20. Hasil dari penelitian ini menjelaskan bahwa algoritma RF dan SVM mencapai akurasi keseluruhan sebesar 99,233% dalam melakukan proses klasifikasi

