

HUBUNGAN KUAT GESER DENGAN PLASTISITAS, FRAKSI TANAH DAN MINERAL TANAH LEMPUNG DAERAH BENDUNGAN GUNUNG ROWO DAN TOL JATINGALEH – KRAPYAK KM 5+525

Savitri Eka Putri, Nurkhasanah Rina Puspita, Muhrozi ^{*)}, Indrastono D. A. ^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Indonesia merupakan kawasan rawan bencana longsor dan beberapa daerah memiliki penyebaran tanah lempung yang cukup luas sehingga perlu penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik tanah lempung. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hubungan empiris nilai plastisitas, fraksi dan mineral tanah untuk memprediksi kuat geser efektif c' dan ϕ' . Analisis yang dilakukan adalah analisis regresi linier untuk mencari korelasi kuat geser efektif c' dan ϕ' dengan nilai plastisitas, fraksi dan mineral tanah, kemudian dilakukan analisa stabilitas lereng pada Tol Jatingaleh-Krapyak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika LL dan PI semakin besar maka kohesi cenderung semakin besar, berkebalikan dengan PL semakin besar maka kohesi semakin kecil. Semakin besar jumlah c soils nilai c' semakin besar, semakin besar kandungan ϕ soils nilai ϕ' semakin besar. Tanah dengan kandungan montmorillonite besar cenderung memiliki kohesi besar dan berkurang dengan bertambahnya kandungan illite dan kaolinite. Diperlukan penelitian lebih lanjut agar didapatkan data yang cukup untuk dilakukan analisa regresi non linier dan multi variabel sehingga menghasilkan regresi yang reliable. yaitu nilai $R > 0.9$.

kata kunci : kuat geser efektif, fraksi tanah, plastisitas, mineral, longsor

ABSTRACT

Indonesia is a disaster-prone area to landslides and Indonesia has widely spread of clay soils, so that continuous the study of clay is necessary about characteristics of clay soil. The purpose of this study is to determine the empirical relationship plasticity values, fractions and mineral soil and to predict the effective shear strength c' and ϕ' . Analysis is about linier regression to infer the relationship between effective shear strength c' and ϕ' with plasticity values, fractions and mineral soils, then analyze slope stability on Tol Jatingaleh – Krapyak. The results showed that LL and PI are more large then c' value is more large too, but it is reverse about PL. If PL is more large then c' is more slightly If value of c soils is more large then c' is more large too, on the contrary if it is ϕ' soils. Soils with a large content of montmorillonite tend to have great cohesion. Decreasing of montmorilonite, it means that value of c' is more slightly because rise of illite and kaolinite. Further research is indispensable to get enough data to do non-linier regression and multivariate regression to produce a reliable value $R > 0,9$.

keywords: effective shear strength, soil fraction, plasticity, mineral, lanslides

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan kawasan rawan bencana salah satunya longsor dan tidak sedikit pembangunan seperti jalan, jembatan dan perumahan harus dilakukan di kawasan-kawasan pegunungan atau perbukitan. Dari beberapa peristiwa bencana longsor yang terjadi disebabkan karena pada lokasi longsor tersebut merupakan jenis tanah lempung. Di Indonesia memiliki beberapa daerah dengan penyebaran tanah lempung yang cukup luas. Total luasan tanah lempung di Indonesia sekitar 20 juta m² atau sekitar 10% dari total luasan daratan Indonesia. Tanah memegang peranan penting dalam menentukan keberhasilan suatu bangunan, karena bangunan sipil menapak di atas tanah.

Mengatasi bencana longsor dilakukan dengan cara menghitung stabilitas lerengnya. Analisa stabilitas lereng harus mengetahui nilai c' dan ϕ' di kedalaman-kedalaman tertentu. Akan tetapi untuk mendapatkan nilai c' dan ϕ' dengan pengujian triaksial membutuhkan waktu yang sangat lama. Sehingga diperlukan penelitian mengenai hubungan c' dan ϕ' dengan variabel lain untuk mendapatkan nilai regresinya dengan tujuan efisiensi waktu. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu :

1. Mengetahui kuat geser efektif c' dan ϕ' tanah lempung dan kaitannya dengan variable lain misalnya nilai jumlah fraksi, mineral dan plastisitas.
2. Mengetahui hubungan empiris jumlah nilai fraksi, plastisitas dan mineral untuk memprediksi nilai tersebut dengan kuat geser efektif c' dan ϕ' .
3. Membuat buku pedoman petunjuk penggunaan alat triaksial yang dibuat sendiri sesuai dengan sistem kerja yang sesungguhnya dan program *spreadsheet* untuk penyajian data.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah dan Sistem Klasifikasi Tanah

Tanah merupakan akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antarpartikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari bebatuan. Umumnya klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan dan uji sedimentasi kemudian juga plastisitas. Secara garis besar, tanah dibagi menjadi dua kelompok yaitu *coarse soils* dan *c soils*.

Pengukuran Kuat Geser

Kuat Geser tanah didefinisikan sebagai maksimum atau batas nilai tegangan geser yang diinduksi masanya sebelum tanah leleh. Evaluasi parameter kuat geser adalah sebuah bagian penting dalam hubungan analitik dan prosedur desain pondasi, dinding penahan dan stabilitas lereng. Pengukuran nilai kohesi dan sudut geser mengacu pada kondisi pengujian yaitu *undrained*, *consolidated-undrained* dan *drained*. Pengujian kuat geser di laboratorium meliputi *shear box*, triaksial, *isotropic consolidation* dan *ring shear*.

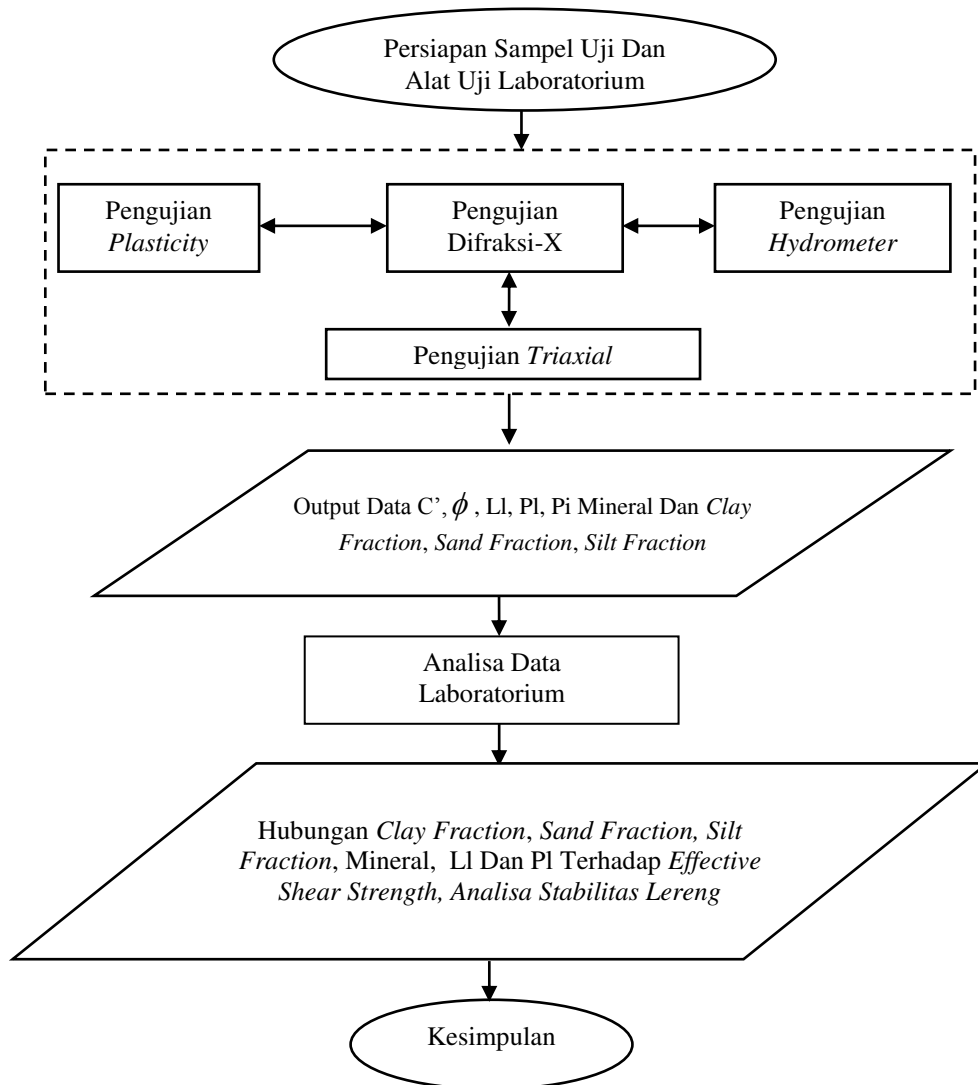
Pengujian Triaksial

Ada tiga tipe pengujian triaksial yaitu *undrained test (quick-undrained test)*, *consolidation-undrained test (CU)*, *consolidation-drained test (CD)*. Penelitian ini dilakukan dengan

metode *consolidation-undrained test* (CU) karena parameter yang dibutuhkan adalah parameter efektif.

METODOLOGI PENELITIAN

Sampel yang digunakan untuk penelitian merupakan tanah lempung yang diambil pada lokasi Tol Jatingaleh - Krpyak Semarang dan Bendungan Gunung Rowo Pati. Bahan yang digunakan merupakan sampel tanah lempung dengan mengambil 4 sampel kedalaman tanah lempung yaitu kedalaman -1-2m, -4.5-5m, -9.5-10m dan -14.5-15m dimana tiap kedalaman diambil 2 sampel. Banyaknya kerugian akibat longsor pada tanah lempung membutuhkan penanganan serta antisipasi. Pengetahuan mengenai karakteristik sifat tanah pada lempung diperlukan untuk membantu perencanaan mengetahui sifat dan perilaku lempung tanpa pengujian terlebih dahulu. Secara sistematis, langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahap Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan dua data yaitu data primer yang diperoleh dari pengujian laboratorium dan data sekunder yang diperoleh dari literatur. Dari hasil pengujian batas atterberg, hidrometer, difraksi sinar x dan triaksial yang dilakukan di laboratorium kemudian diolah secara manual dan bantuan program sebelum dilakukan analisa data. Dimana data-data tersebut harus bersesuaian dengan literatur yang ada.

Tahap Analisis Data

Pada tahap ini, data primer yang sudah diolah kemudian dianalisis dengan metode regresi linier menggunakan program Ms. Excel. Analisis dilakukan dengan mencari hubungan plastisitas, fraksi tanah dan mineral terhadap nilai kuat geser efektif c' dan ϕ' sehingga didapatkan rumus regresinya.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Batas-Batas Atterberg (Plastisitas)

Analisis ini berguna untuk menentukan nilai plastisitas tanah yaitu batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Dari kedua nilai tersebut dapat diketahui juga nilai indeks platis (PI). Hasil dari analisis dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian Atterberg Limit dan tipe *soil clasification*

No	Lokasi Sampel	Kedalaman (m)	Soil Clasification	LL (%)	PL (%)	PI (%)
1	Bendungan Gunung Rowo, Pati	1.0-2.0	MH	53.1	30.94	22.16
2	Jalan Tol Jatingaleh-Krapyak Semarang	4.5-5	MH	62.5	32.19	30.31
3	Jalan Tol Jatingaleh-Krapyak Semarang	9.5-10	CH	88.8	27.84	60.94
4	Jalan Tol Jatingaleh-Krapyak Semarang	14.5-15	CH	85.7	20.36	65.34

Dari tabel di atas dapat diketahui nilai-nilai plastisitas setiap kedalaman. Selain itu juga diperkirakan tipe soil dan indeks properties dari data batas cair (LL) dan indeks plastis (PI) menggunakan grafik *Cassagrande's chart for determining soil classification*. Lokasi sampel Gunung Rowo dan Tol Krapyak kedalaman 1.0-2.0 m dan 4.5-5.0 m memiliki tipe *soil* yaitu *silt* dengan indeks properties *high plasticity* sedangkan lokasi sampel Tol Krapyak kedalaman 9.5-10 m dan 14.5-15.0 m memiliki tipe *soil* yaitu *clay* dengan indeks properties *high plasticity*.

Hidrometer (Fraksi Tanah)

Dari pengujian hidrometer dan *Grain Size Accumulation Curve* (ASSHTO *Clasification*) didapatkan nilai fraksi tanahnya yaitu fraksi *clay*, *silt* dan *sand*, selain itu dari nilai aktivitas (A) dan % *clay* dapat diperkirakan kandungan mineral yang paling dominan dalam tanah. Tabel 2 di bawah ini diberikan rekapitulasi hasil pengujian untuk semua sampel.

Tabel 2. Hasil rekapitulasi fraksi tanah

Location depth (m)	Gn Rowo (1.0-2.0)	Tol Krapyak (4.5-5.0)	Tol Krapyak (9.5-10.0)	Tol Kapyak (14.5-15.0)
clay %	18	35	39	42
silt %	62	60	49	58
sand %	20	5	12	0
Activity	1.23	0.92	1.6	1.56

Dari tabel di atas dapat diketahui jumlah fraksi *clay*, *silt* dan *sand* pada sampel tanah setiap kedalaman. Nilai fraksi tanah digunakan untuk mengklasifikasikan tanah masuk dalam jenis tanah *coarse soils* atau *c soils*.

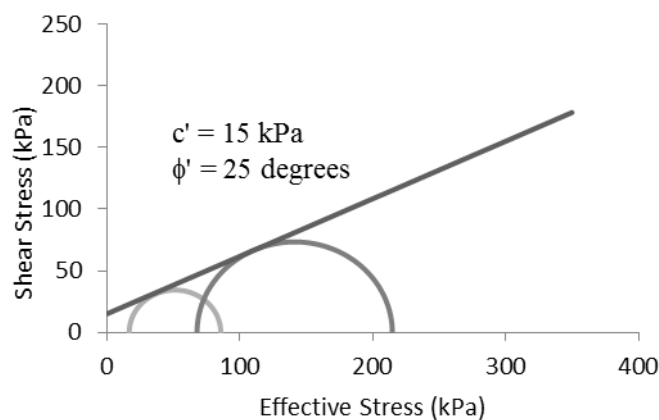
Triaksial (Kuat Geser Efektif)

Pengujian triaksial dilakukan dengan tiga tahap yaitu: *saturation*, *consolidation* dan *shearing*. Tahap *saturation* dihentikan apabila nilai *B value* > 0.9, tahap *consolidation* dilakukan agar *pore water pressure* sama dengan *back pressure* setelah itu dilakukan *shearing* untuk mengetahui besarnya perlawanan dari tanah hingga mencapai kegagalan. Dari data *shearing* kemudian dibuat lingkaran mohr untuk mengetahui besarnya parameter kuat geser. Berikut diberikan tabel rekapitulasi hasil pengujian triaksial.

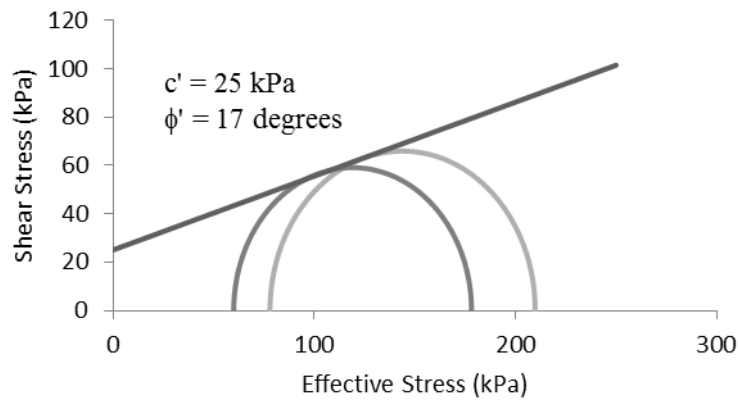
Tabel 3. Nilai parameter *shear strength* tiap sampel

No	Lokasi Sampel	Kode	Kedalaman (m)	c effective (kPa)	ϕ effective (°)
1	Bendungan Gunung Rowo	GN	1.0-2.0	15	25
2	Jalan Tol Krapyak	TL	4.5-5	25	17
3	Jalan Tol Krapyak	TL	9.5-10	30	12.5
4	Jalan Tol Krapyak	TL	14.5-15	33	10

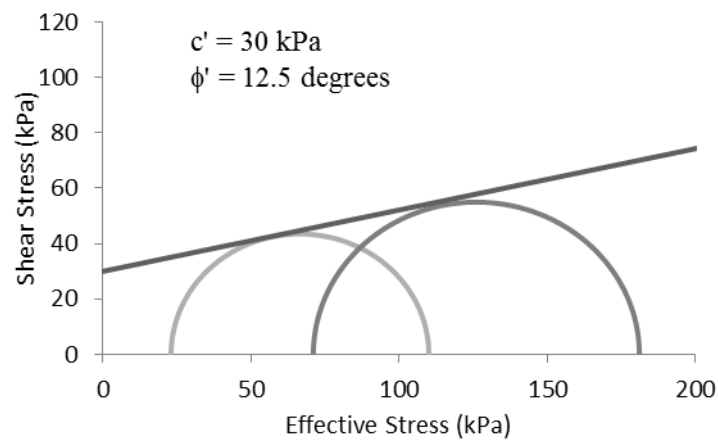
Setelah pengujian triaksial selesai dilakukan, kemudian data yang didapatkan diolah menggunakan program Ms. Excel, untuk mendapatkan nilai c' dan ϕ' digambarkan dengan grafik Lingkaran Mohr. Berikut grafik lingkaran mohr untuk setiap kedalaman.



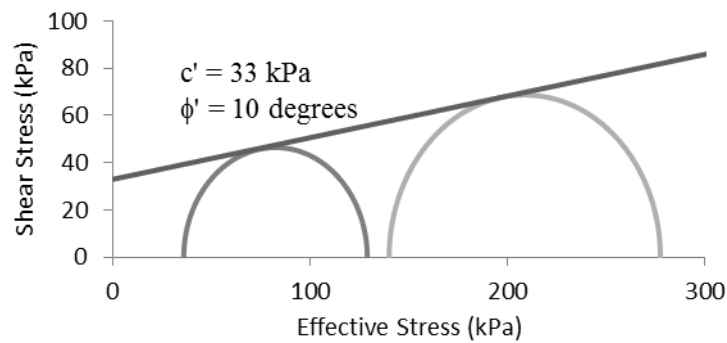
Gambar 2. Mohr-Circle Gunung Rowo kedalaman 1.0 - 2.0 m



Gambar 3. Mohr-circle Tol Krapyak kedalaman 4.5-5.0m



Gambar 4. Mohr-Circle tol Krapyak kedalaman 9.5 - 10 m



Gambar 5. Mohr-circle tol Krapyak kedalaman 14.5 - 15 m

Difraksi Sinar X (Kandungan Mineral)

Analisa mineralogi sangat berguna untuk mengidentifikasi jenis mineral pada lempung dan memperkirakan jumlahnya, identifikasi kandungan mineral pada lempung bias digunakan untuk mengetahui potensi kembang susut suatu tanah lempung. Salah satu cara mengidentifikasi mineral lempung adalah Difraksi Sinar X (*X-Ray Diffraction*). Pengujian difraksi sinar x digunakan untuk mengidentifikasi kandungan mineral *silika* dan

mineral lempung. Dari hasil pengujian di Laboratorium dan hasil analisa kandungan mineral menggunakan program Match didapatkan fraksi mineral setiap kedalaman sampel.

Tabel 4. Hasil rekapitulasi kandungan mineral

Lokasi	Gunung Rowo	Tol Krapyak	Tol Krapyak	Tol Krapyak
Depth	1.0-2.0	4.5-5.0	9.5-10.0	14.5-15.0
Montmorillonite	11.3	22.3	34.2	26.9
Kaolinite	48.1	39.4	8.7	18.8
Illite	16.9	25.3	47.2	52.1

Dapat dilihat pada hasil analisis kandungan mineral yang paling dominan pada setiap sampel. Sehingga dapat diketahui sampel yang memiliki potensi kembang susut terbesar.

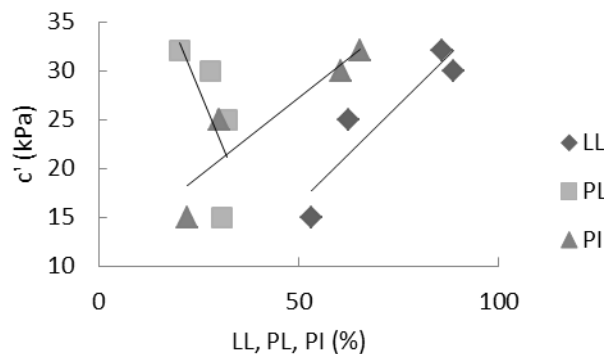
Hubungan Variabel Dengan Kuat Geser Efektif (c' dan ϕ')

Dari hasil pengujian Atterberg Limit, Hidrometri, Difraksi Sinar X dan Triaksial CU yang telah dilakukan kemudian dilakukan regresai linier untuk memperkirakan kuat geser. Regresi linier dilakukan untuk memperkirakan nilai kuat geser efektif terhadap berbagai parameter pengujian tanah yang lain. Tabel 5 di bawah ini berisikan rekapitulasi hasil dari setiap kedalaman.

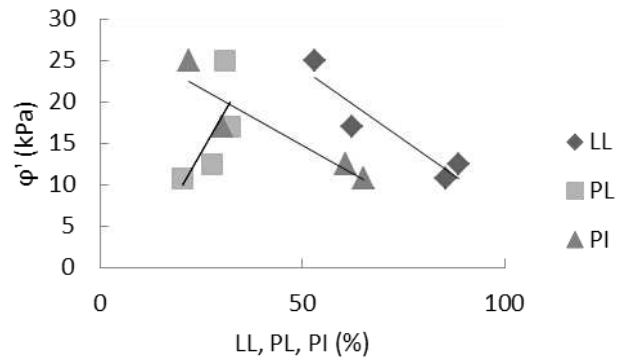
Tabel 5. Hasil rekapitulasi parameter *shear strength* dan variabel

Location depth (m)	Gn Rowo (1.0-2.0)	Tol Krapyak (4.5-5.0)	Tol Krapyak (9.5-10.0)	Tol Krapyak (14.5-15.0)
c	15	25	30	32
phi	25	17	12.5	10.7
LL	53.1	62.5	88.8	85.7
PL	30.94	32.19	27.84	20.36
PI	22.16	30.31	60.96	65.34
clay %	18	35	39	42
silt %	62	60	49	58
sand %	20	5	12	0
Activity	1.23	0.92	1.6	1.56
Mineral (XRD)	Montmorillonite = 11.3% Kaolinite = 48.1% Illite = 16.9%	Montmorillonite = 22.3% Kaolinite = 39.4% Illite = 25.3%	Montmorillonite = 34.2% Kaolinite = 8.7% Illite = 47.2%	Montmorillonite = 26.9% Kaolinite = 18.8% Illite = 52.1%

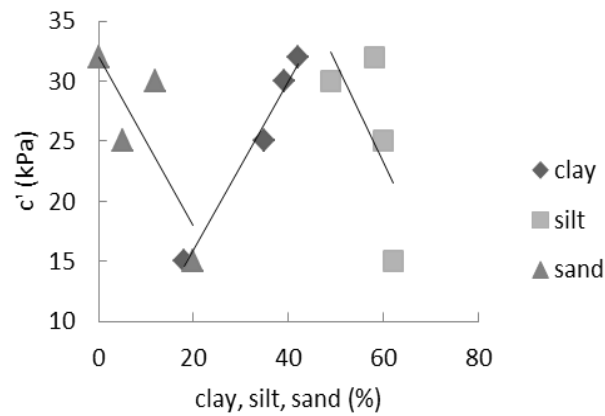
berikut akan diberikan grafik hubungan korelasi variabel terhadap c' dan ϕ' .



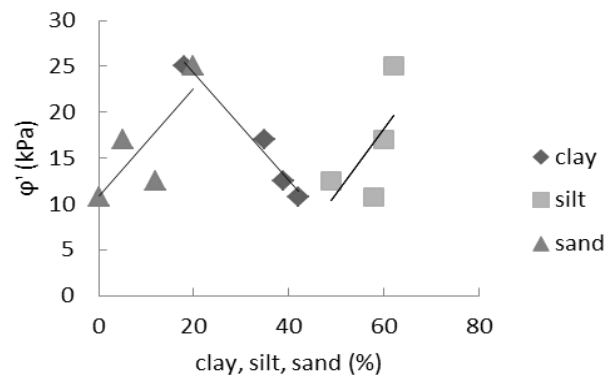
Gambar 6. Grafik hubungan LL, PL dan PI dengan c'



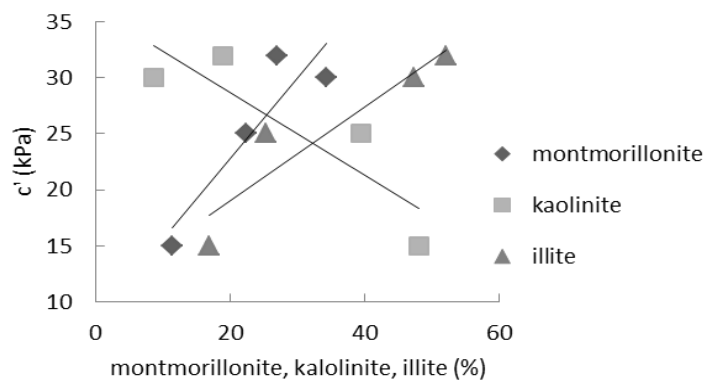
Gambar 7. Grafik hubungan LL, PL dan PI dengan ϕ'



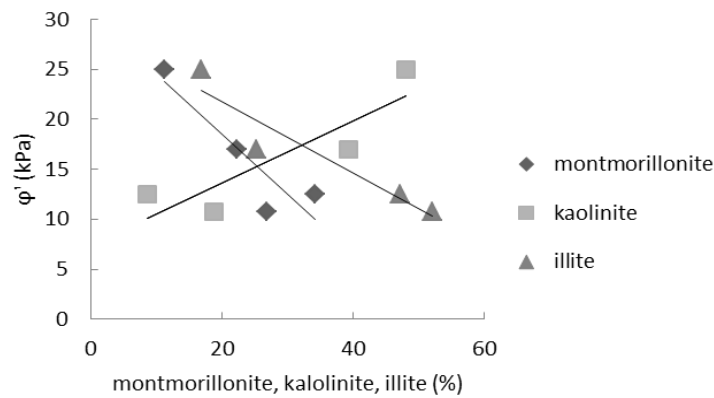
Gambar 8. Grafik hubungan fraksi clay, silt dan sand dengan c'



Gambar 9. Grafik hubungan fraksi clay, silt dan sand dengan ϕ'



Gambar 10. Grafik hubungan montmorillonite, kaolinite dan illite dengan c'



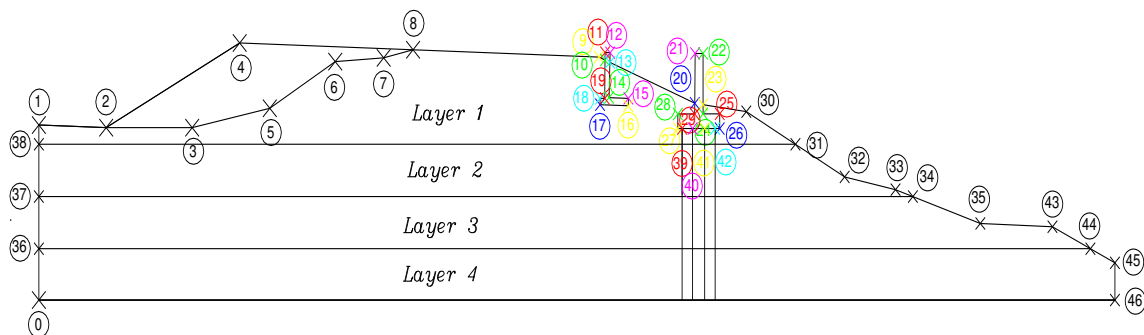
Gambar 11. Grafik hubungan montmorillonite, kaolinite dan illite dengan ϕ'

Tabel 6. Hasil rekapitulasi regresi linier

Dependent Variable	Independent Variables	R ²	Linier Regresion
Effective Cohesion	LL	0.853	$y = 0.401x - 3.615$
Effective Cohesion	PL	0.475	$y = -0.986x + 52.95$
Effective Cohesion	PI	0.837	$y = 0.321x + 11.15$
Effective Cohesion	% Clay	0.981	$y = 0.701x + 2.001$
Effective Cohesion	% Silt	0.408	$y = -0.845x + 73.90$
Effective Cohesion	% Sand	0.640	$y = -0.699x + 31.96$
Effective Cohesion	% Montmorillonite	0.828	$y = 0.720x + 8.447$
Effective Cohesion	% Kaolinite	0.772	$y = -0.367x + 36.06$
Effective Cohesion	% Illite	0.873	$y = 0.418x + 10.69$
Effective Friction Angle	LL	0.972	$y = -0.586x + 35.94$
Effective Friction Angle	PL	0.411	$y = 0.712x - 24.51$
Effective Friction Angle	PI	0.629	$y = 0.581x + 10.91$
Effective Friction Angle	% Montmorillonite	0.824	$y = -0.603x + 30.58$
Effective Friction Angle	% Kaolinite	0.785	$y = 0.311x + 7.353$
Effective Friction Angle	% Illite	0.892	$y = -0.355x + 28.86$

Analisa Stabilitas Lereng Tol Jatingaleh-Krapyak KM 5+525

Dari data bor log jika dilakukan *ploting* pada STA 5+525 *existing* maka dihasilkan Gambar 12. Analisa yang dilakukan ada dua kondisi yaitu *long term* dan *short term*. Perkiraan nilai kuat geser ditampilkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.



Gambar 12. Perkiraan lapisan tanah pada STA 5+525 kondisi *existing* (5+525Ex)

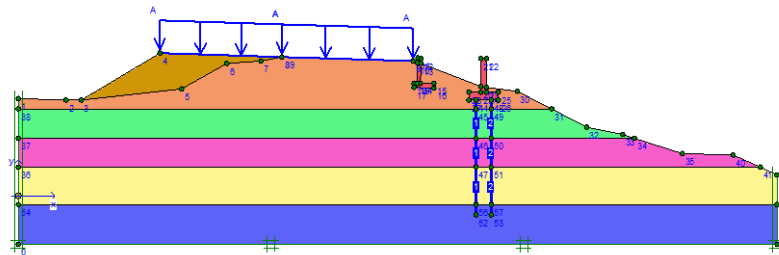
Tabel 7. Perkiraan *shear strength* tiap lapisan dari nilai N-SPT

Layer	Model material	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c_u (kN/m ²)	ϕ degree	Description	E_{ref} (kN/m ²)	v
Layer 1	nonporous	16	18	28	1	Firm	8000	0.25
Layer 2	nonporous	16	18	32	1	Firm	9000	0.25
Layer 3	nonporous	16	18	52	1	Stiff	14000	0.25
Layer 4	nonporous	18	20	180	1	Hard	50000	0.25
Layer 5	nonporous	18	20	180	1	Hard	50000	0.25

Tabel 8. Parameter tanah berdasar N-SPT STA 5+525 kondisi *existing* (5+525Ex)

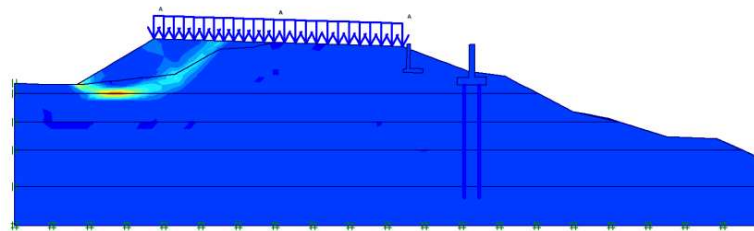
Layer	Model material	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	$c^?$ (kN/m ²)	$\phi^?$ degree	Description	E_{ref} (kN/m ²)	v
Layer 1	nonporous	16	18	15	25	Firm	8000	0.25
Layer 2	nonporous	16	18	25	17	Firm	9000	0.25
Layer 3	nonporous	16	18	26	15	Stiff	14000	0.25
Layer 4	nonporous	18	20	30	12.5	Hard	50000	0.25
Layer 5	nonporous	18	20	32	10	Hard	50000	0.25

Section pada STA 5+525 kemudian dimodelkan sehingga menghasilkan geometri seperti Gambar 13 kemudian dilakukan analisa menggunakan Plaxis dan menghasilkan output bidang kegagalan dan *safety factor* (SF) seperti Gambar 14 dan Gambar 15.

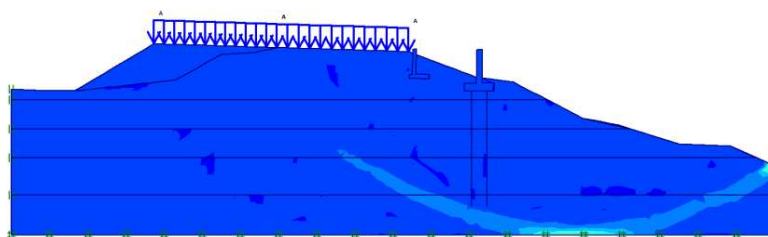


Gambar 13. Model Plaxis dari STA STA 5+525 kondisi *existing* (kode model 5+525Ex)

Interpretasi *slip line* untuk kode model STA 5+525 kondisi *existing* dengan SF = 1.64 ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14. *Slip line* kondisi *short term* SF=1.64



Gambar 15. *Slip line* kondisi *long term* SF=1.34

Dari Gambar 14 dan Gambar 15 *Slip line* untuk kode model STA 5+525 menghasilkan nilai SF yang berbeda yaitu SF=1.64 memenuhi kriteria penerimaan yaitu SF=1.5 dan SF=1.34 tidak memenuhi kriteria penerimaan yaitu SF=1.5 sehingga perlu instrumentasi monitoring *landslide* seperti *inclinometer* dan *standpipe piezometer*, untuk memantau stabilitas lereng pada masa konstruksi dan setelah konstruksi.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa data yang dilakukan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Hubungan LL, PL dan PI dengan *effective shear strength*
Semakin besar nilai LL kohesi pada tanah semakin besar, semakin besar PL kohesi semakin kecil karena kecenderungan nilai PL pada tanah *nonplastic*, semakin besar nilai PI nilai kohesi semakin besar karena cenderung tanah lempung.
2. Hubungan fraksi *clay, silt dan sand* dengan *effective shear strength*
Nilai kohesi pada tanah cenderung besar untuk tanah dengan kandungan lempung besar dan berkurang dengan bertambahnya kandungan lanau dan pasir.
3. Hubungan fraksi *montmorillonite, illite dan kaolinite* dengan *effective shear strength*
Nilai kohesi pada tanah cenderung besar untuk tanah dengan kandungan *montmorillonite* besar dan berkurang dengan bertambahnya kandungan *illite* dan *kaolinite*. Ini dikarenakan pada tanah *montmorillonite* memiliki *surface area* besar sehingga kemampuan menyerap air juga besar.
4. Analisa regresi linier tidak memberikan nilai regresi yang maksimal yaitu < 0.8 untuk beberapa hubungan regresi. Ini dikarenakan data yang digunakan dalam penelitian kurang banyak.
5. Analisa stabilitas lereng Jalan tol Jatingaleh-Krapyak KM 5+525 dengan menggunakan plaxis didapatkan kondisi total SF = 1.64 Kondisi ini memenuhi kriteria penerimaan yaitu SF = 1.5 dan kondisi efektif SF = 1.34 kondisi ini tidak memenuhi kriteria penerimaan yaitu SF = 1.5.

SARAN

Diperlukan adanya peneliiian lebih lanjut mengenai lempung Jawa Tengah, sehingga didapatkan data yang cukup untuk mendapatkan regresi yang *reliable* dan dilakukan analisa regresi *non linier* dan juga regresi *multi variabel* menggunakan program SPSS sehingga menghasilkan regresi dengan nilai > 0.9 .

DAFTAR PUSTAKA

- Bell, F.G., 1992. *Engineering Properties of Soils and Rock*, Butterworth-Heinnema Ltd, England.
- Craig, R.F., 1991. *Mekanika Tanah*, Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M., 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- Fratta, Dante, Jennifer Aguettant, Lynne Roussel-Smith., 2007. *Soil Mechanics Laboratory Testing*, CRC Press, Francis.
- Hadiyatmo, H.C., 2012. *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta
- Hadiyatmo, H.C., 2010. *Mekanika Tanah II*, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta

- Head, K.H., 1994. *Manual of Soil Laboratory Testing Volume 2 Permeability, Shear Strength and Compressibility Test*, Wiley, United States and Canada.
- Head, K.H., 1998. *Manual of Soil Laboratory Testing Volume 3 Effective Stress Test*, Wiley, England.
- Look, Burt G., 2007. *Hanbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*, Taylor and Francis Group, London.
- Whitlow, R., 1995. *Basic Soil Mechanics*, Longman, United Kingdom.
- Yong, N Raymond, Warkentin, P Benno., 1975. *Soil Properties and Behaviour*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.