

ANALISIS PARAMETER MODEL TANAH *NONLINEAR ELASTOPLASTIC* MENGGUNAKAN PLAXIS 2D UNTUK STUDI KASUS GALIAN-DALAM

Woelandari Fathonah

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jenderal Sudirman Km.3 Kota Cilegon – Banten Indonesia

Email : woelan.civil@yahoo.co.id

INTISARI

Penelitian ini difokuskan pada penentuan parameter model tanah nonlinear elastoplastic dengan melakukan prediksi balik parameter tanah. Prediksi balik parameter tanah dilakukan dengan cara menentukan parameter preliminary terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan konstitutif standar setelah itu, dilakukan prediksi balik melalui curve fitting. Prediksi balik dilakukan dengan bantuan Plaxis 2D yaitu dengan mencocokkan hasil pengujian dengan soil test pada Plaxis 2D. Model konstitutif tanah yang digunakan yaitu model Mohr Coulomb, Hardening Soil dan Soft Soil. Dari ketiga model tanah yang digunakan menunjukkan hasil prediksi balik yang baik. Tetapi untuk model Hardening soil menunjukkan kurva stress-strain nya lebih mendekati dengan hasil laboratorium. Pada penelitian ini dilakukan terhadap dua studi kasus galian dalam.

Kata-kata kunci : Model konstitutif tanah, Plaxis 2D, Prediksi balik.

ABSTRACT

This research focuses on the determination of parameter for non-linear elastoplastic soil model with the back prediction on soil parameter. The back prediction on soil parameter was conducted by determining the preliminary parameter first with standard constitutive equation and back prediction through curve fitting. The back prediction was conducted with the aid of Plaxis 2D, by matching the result of soil test on Plaxis 2D. The used soil constitutive models were Mohr Coulomb, Hardening Soil, and Soft Soil. These three soil models showed good result of back prediction. However, Hardening Soil showed a stress-strain curve that was closer to the result in the laboratory. Two case studies in this research were case study of deep excavation.

Keywords: Soil constitutive model, Plaxis 2D, Back prediction.

1. Pendahuluan

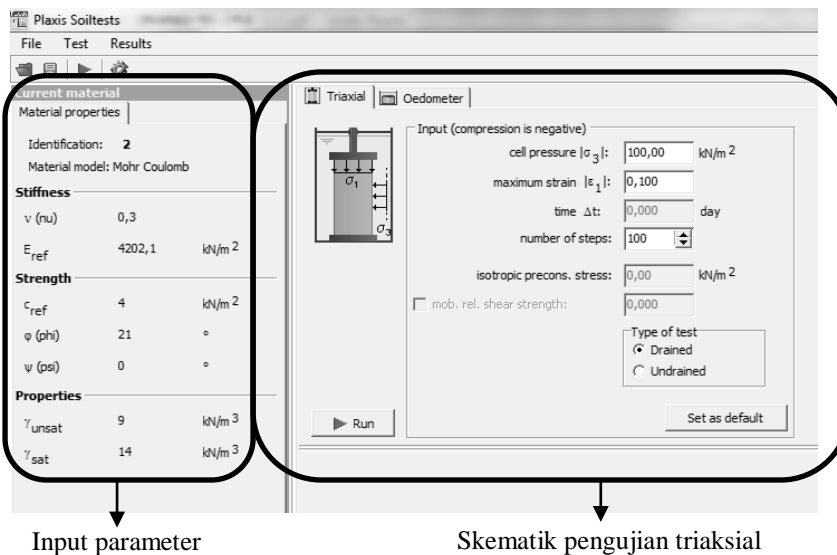
Sebagaimana masih umum dilakukannya pengujian triaksial konvensional, dimana kebanyakan pengujian triaksial di Indonesia sering menampilkan *shear strengtnya* saja tanpa menampilkan kurva *stress-strain*, seharusnya ditampilkan juga kurva *stress-strainnya* agar dapat mendevolop parameter tanahnya. Disamping itu, seiring dengan biaya pengujian tanah yang semakin mahal seharusnya dituntut dapat memberikan hasil data pengujian tanah yang baik, karena data tanah yang baik merupakan data yang dapat mewakili dengan kondisi sebenarnya di Lapangan sangat berpengaruh terhadap analisis, seperti parameter kekakuan (*stiffness*) idealnya diperoleh dari hasil pengujian laboratorium yang melibatkan kurva *stress-strain*, namun pada prakteknya parameter kekakuan (*stiffness*) diperoleh melalui korelasi secara empirik atau dengan parameter tanah yang lain. Terkait dengan adanya gangguan yang mungkin terjadi saat melakukan

pengujian perlu diperhatikan ,karena akan brpengaruh terhadap hasil data pengujian, oleh karena itu sebaiknya memilih dan membandingkan dengan batasan nilai yang masuk akal dan dilakukan prediksi balik parameter pada model Mohr-Culomb, Hardening Soil dan Soft Soil untuk mendekati perilaku tanah di Laboratorium.

Penelitian ini difokuskan pada penentuan parameter model tanah *nonlinear elastoplastic* dengan melakukan prediksi balik paramater tanah dengan bantuan *software* Plaxis 2D yaitu dengan mencocokkan hasil pengujian dengan *soil test* pada Plaxis 2D.

2. Prediksi Balik Parameter Tanah

Prediksi balik parameter tanah dilakukan dengan cara menentukan parameter *preliminary* terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan konstitutif standar setelah itu, diprediksi balik melalui *curve fitting* yaitu dengan mencocokkan hasil pengujian dengan *soil test* di Plaxis.

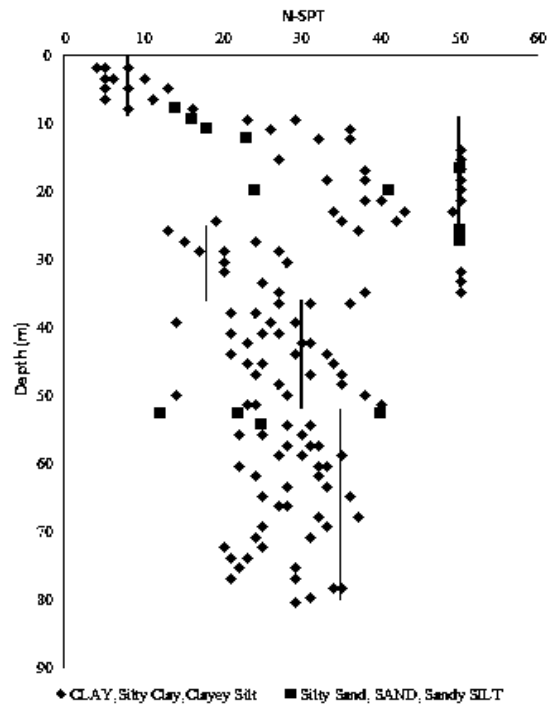


Gambar 1. Prediksi balik parameter dengan soil test pada Plaxis

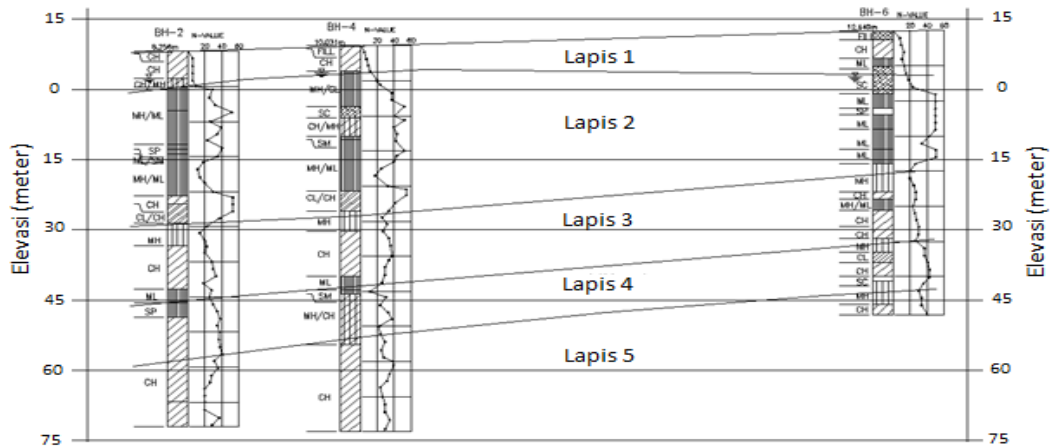
3. Kondisi Geoteknik

Pada Gambar 2. menunjukkan nilai N-SPT pada studi kasus A dengan referensi borehole nya dalah BH-2, BH-4 dan BH-6. Dari data

borlog menunjukkan muka air tanah berada pada kedalaman -5.0 m hingga -5.8 m. didalam analisis digunakan kedalaman muka air tanah sebesar -5.5 m.



Gambar 2. Data N-SPT



Gambar 3. Gambar potongan melintang

Dari hasil pengeboran dalam yang disertai uji N-SPT diperoleh gambaran umum mengenai jenis dan kekuatan tanah. Informasi kekuatan tanah dapat dilihat dari besarnya nilai N-SPT lapangan.

Pada lokasi penyelidikan tanah elevasi muka tanah eksisting bervariasi. Informasi yang diperoleh dari data topografi, elevasi muka tanah tertinggi pada +17 dan untuk elevasi permukaan penyelidikan tanah bervariasi dari +8.751 dan +9.406 dengan rata – rata berada

di level +9. Kedalaman muka air tanah cukup dangkal, berada pada kedalaman antara 0.7 m sampai 3.15m dari permukaan tanah dengan rata – rata diambil pada kedalaman 1.2 m dari permukaan tanah atau pada elevasi +7.8, dan berada diatas elevasi rencana.

Penyelidikan tanah untuk studi kasus ini, referensinya adalah BH-2, BH-4, dan BH-6. Berdasarkan data *atterberg limit* dan data N-SPT, maka tanah diklasifikasikan menjadi lima lapis utama yaitu:

Layer 1	Silty clay (soft to medium) N-SPT = 8
Layer 2	Sand (dense) N-SPT = 50
Layer 3	Silty clay (stiff to very stiff) N-SPT = 18
Layer 4	Silty clay (very stiff) N-SPT = 30
Layer 5	Silty clay (hard) N-SPT = 35

Gambar 4. Klasifikasi lapisan tanah Untuk studi kasus A

4. Parameter Tanah

Parameter tanah baik *drained* maupun *undrained* diperoleh dari hasil laboratorium dan hasil korelasi berdasarkan data N-SPT.

4.1 Parameter Kekuatan Tanah/ *Shear Strength* (c dan ϕ)

Parameter c dan ϕ untuk lapis tanah 1 diperoleh dari data laboratorium pengujian Triaksial CU yang dibentuk *stress path* untuk masing-masing benda uji sehingga diperoleh parameter c dan ϕ .

Dari hasil pengujian triaksial CU di Laboratorium diperoleh nilai $\phi = 15.68^\circ$, $c = 8.15 \text{ kN/m}^2$, $\phi' = 25.77^\circ$ dan $c' = 7.94 \text{ kN/m}^2$. Untuk lapis tanah 2 hingga lapis tanah 5 dilakukan korelasi berdasarkan data N-SPT untuk memperoleh parameter c dan ϕ .

Tabel 1. Resume nilai parameter c dan ϕ untuk masing-masing lapis tanah.

Layer	Depth		N-Average	Soil Type	Consistency	c (kPa)	ϕ (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)
	(m)								
	From	To							
1	0	9	8	Silty Clay	Soft to Medium	8.15	15.68	7.94	25.8
2	9	25	50	Sand	Dense	-	-	5	44
3	25	36	18	Silty Clay	Stiff to Very Stiff	108	-	20	22
4	36	52	30	Silty Clay	Very Stiff	180	-	20	22
5	52	80	35	Silty Clay	Hard	200	-	50	25

Nilai c_u diperoleh dari korelasi Nilai N-SPT, $c_u = 2/3 \times \text{N-SPT} (\text{ton/m}^2) \approx 6 \times \text{N-SPT} (\text{kN/m}^2)$.

4.2. Parameter Poisson Ratio

Parameter poisson ratio diperoleh dari hasil korelasi konsistensi tanah dengan poisson ratio (Bowles, 1982).

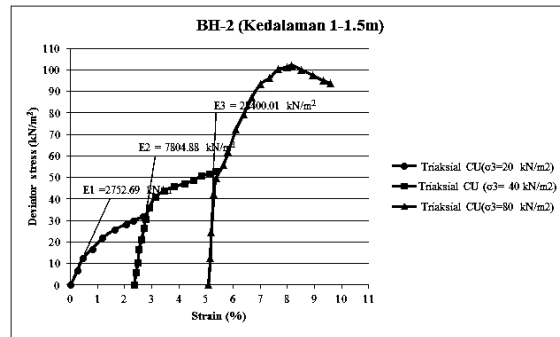
Tabel 2. Resume nilai parameter poisson ratio untuk masing-masing lapis tanah.

Layer	Depth		N-Average	Soil Type	Consistency	PI	ν'
	(m)						
	From	To					
1	0	9	8	Silty Clay	Soft to Medium	43.13	0.35
2	9	25	50	Sand	Dense to Very Dense	-	0.30
3	25	36	18	Silty Clay	Stiff to Very Stiff	37.88	0.35
4	36	52	30	Silty Clay	Hard to Very Hard	36.20	0.35
5	52	80	35	Silty Clay	Hard to Very Hard	28.40	0.35

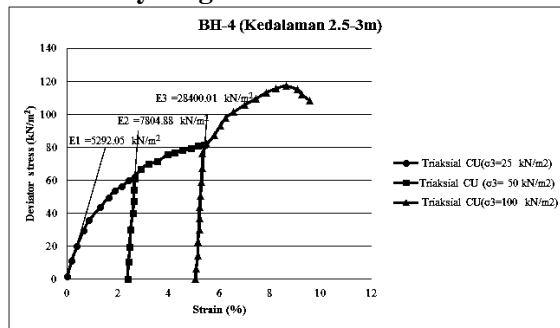
4.3. Parameter Modulus Young

Parameter modulus young untuk setiap lapis tanah diperoleh berdasarkan korelasi

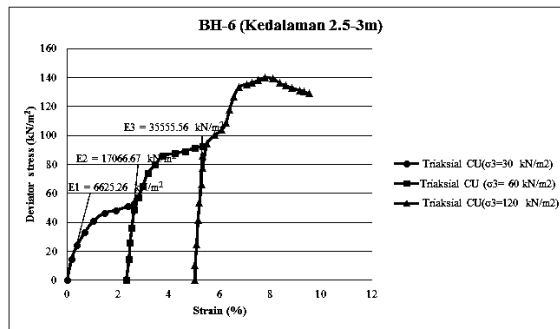
menggunakan korelasi *modulus undrained* dengan OCR (Jamioikoski et al, 1979).



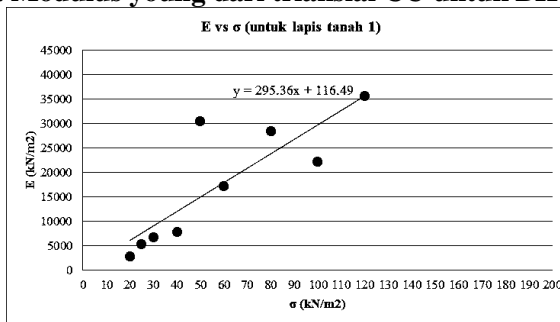
Gambar 5. Modulus young dari triaksial CU untuk BH2 (1-1.5 m).



Gambar 6. Modulus young dari triaksial CU untuk BH4 (2.5 - 3 m).



Gambar 7. Modulus young dari triaksial CU untuk BH6 (2.5 - 3 m).



Gambar 8. Grafik E vs σ (untuk tanah lapis 1).

Dari grafik diatas diperoleh nilai E_u sebesar = 8977.29 kN/m².

Untuk nilai E' diperoleh berdasarkan persamaan berikut :

$$E' = \frac{2(1+v')E_u}{3} \quad (1)$$

Dengan nilai $v' = 0.35$ maka diperoleh $E' = 8079.561$ kN/m².

Tabel 3. Resume nilai parameter modulus young untuk tanah lapis 1 sampai tanah lapis 5.

Layer	Depth (m)		N-Average	Soil Type	Consistency	PI (%)	c_u	OCR	E_u (kN/m ²)		E_u (kN/m ²)	E' (kN/m ²)
	From	To							(Jamiolkoski et al, 1979)			
									Minimum	Maksimum		
1	0	9	8	Silty Clay	Soft to Medium	43	48	1.03	-	-	8977	8080
2	9	25	50	Sand	Dense to Very Dense	-	-	-	-	-	-	42500
3	25	36	18	Silty Clay	Stiff to Very Stiff	38	108	1.73	32400 (300 c_u)	64800 (600 c_u)	36000	32400
4	36	52	30	Silty Clay	Hard to Very Hard	36	180	1.72	54000 (300 c_u)	108000 (600 c_u)	57000	51300
5	52	80	35	Silty Clay	Hard to Very Hard	28	210	1.52	126000 (600 c_u)	315000 (1500 c_u)	130000	86667

4.4. Overconsolidated Ratio (OCR)

Nilai OCR dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$OCR = \frac{P_c}{\sigma'_v} \quad (2)$$

dengan menggunakan persamaan empirik sebagai berikut :

$$\left(\frac{S_u}{\sigma'_v}\right)_{oc} / \left(\frac{S_u}{\sigma'_v}\right)_{Nc} = (OCR)^{0.8} \quad (3)$$

$\left(\frac{S_u}{\sigma'_v}\right)_{oc}$: nilai kuat geser dan tegangan vertikal efektif pada kedalaman yang ditinjau.

Robertson dan Campanella (1983), Skempton (1957), Ladd & Foot (1974) menunjukkan

persamaan $\left(\frac{S_u}{\sigma'_v}\right)_{Nc}$ sebagai berikut :

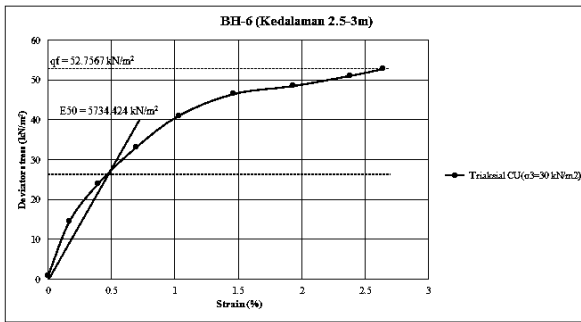
$$\left(\frac{S_u}{\sigma'_v}\right)_{Nc} = 0.11 + 0.0037 IP. \quad (4)$$

4.5. Kekakuan primary loading (E_{50}^{ref})

E_{50} merupakan secant modulus pada saat stress level samadengan 50% atau pembebanan mencapai 50% dari beban runtuh. Nilai E_{50} diperoleh dari hubungan stress-strain dari hasil tes triaksial CU. Menurut Calvello dan Finno (2004), digunakan besarnya rasio kekakuan $E_{50}^{ref} = 1/3 E_{ur}^{ref}$ dan $E_{oed}^{ref} = 0,7 E_{50}^{ref}$. Berdasarkan referensi dari manual Plaxis memberikan rekomendasi parameter power (m) untuk tanah lempung lunak = 1 dan $v_{ur} = 0,2$. Sedangkan menurut Brinkgreve (2002) direkomendasikan menggunakan rasio kekakuan $E_{oed}^{ref} = E_{50}^{ref}$ dan $E_{ur}^{ref} = 3 E_{50}^{ref}$. Untuk studi kasus pada penelitian ini digunakan rasio kekakuan $E_{oed}^{ref} = E_{50}^{ref}$ dan $E_{ur}^{ref} = 3 E_{50}^{ref}$.

Tabel 4. Resume nilai OCR untuk tanah lapis 1 sampai tanah lapis 5.

Layer	Depth (m)		N-Average	Soil Type	Consistency	OCR
	From	To				
	1	0				
2	9	25	50	Sand	Dense to Very Dense	-
3	25	36	18	Silty Clay	Stiff to Very Stiff	1.73
4	36	52	30	Silty Clay	Hard to Very Hard	1.72
5	52	80	35	Silty Clay	Hard to Very Hard	1.52



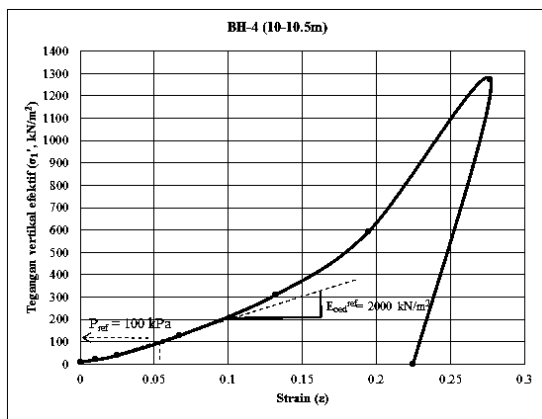
Gambar 9. Contoh E_{50} pada BH2 (Kedalaman 1-1.5m) dengan $\sigma_3 = 20 \text{ kN/m}^2$.

Tabel 5. Resume nilai E_{50}^{ref} untuk tanah lapis 1 sampai tanah lapis 5.

Layer	Depth (m)		N-Average	Soil Type	Consistency	E_{50}^{ref} (kN/m ²)	E_{50}^{ref} (kN/m ²)
	From	To					
1	0	9	8	Silty Clay	Soft to Medium	13734	9202
2	9	25	50	Sand	Dense	-	30000
3	25	36	18	Silty Clay	Stiff to Very Stiff	30000	20100
4	36	52	30	Silty Clay	Very Stiff	40000	26800
5	52	80	35	Silty Clay	Hard	80000	53600

4.6. Kekakuan Oedometer (E_{oed}^{ref})

Nilai kekakuan oedometer (E_{oed}^{ref}) diperoleh dari hasil laboratorium konsolidasi dengan $p_{ref} = 100 \text{ kN/m}^2$.



Gambar 10. Contoh Grafik E_{oed}^{ref} pada BH4 (10-10.5 m).

Untuk tanah lapis 2 (9-25m) diperoleh nilai E_{oed}^{ref} sebesar 2000 kN/m^2 dan untuk tanah lapis 3 (25-36m) diperoleh E_{oed}^{ref} sebesar 3500 kN/m^2 .

Untuk tanah lapis 2 sampai tanah lapis 5 nilai E_{50}^{ref} diperoleh dari korelasi modulus elastisitas untuk tanah lempung berdasarkan nilai PI dan OCR (Braja M Das, 2002).

Tabel 6. Resume nilai E_{oed}^{ref} untuk tanah lapis 3.

Depth (m)	E_{oed}^{ref} (kN/m ²)
BH-6 (26-27 m)	3000
BH-2 (34-34.5 m)	4000
rata-rata	3500

Karena data konsolidasi kurang mewakili hanya untuk kedalaman tertentu saja, maka digunakan korelasi untuk mendapatkan nilai E_{oed}^{ref} untuk tanah lapis 1 sampai tanah lapis 5, didalam Plaxis nilai $E_{oed}^{ref} = E_{50}^{ref}$.

4.7. Kekakuan Unloading/Reloading (E_{ur}^{ref})

Nilai kekakuan unloading reloading (E_{ur}^{ref}) diperoleh dari hasil korelasi, dimana nilai $E_{ur}^{ref} = (2 - 5)E_{50}^{ref}$, didalam Plaxis diambil nilai $E_{ur}^{ref} = 3E_{50}^{ref}$. Berikut tabel hasil korelasi nilai E_{ur}^{ref} untuk setiap lapisan tanah.

Tabel 7. Resume nilai E_{ur}^{ref} untuk tanah lapis 1 sampai tanah lapis 5.

Layer	Depth (m)		N-Average	Soil Type	Consistency	E_{ur}^{ref} (kN/m ²)
	From	To				
	1	0				
2	9	25	50	Sand	Dense	90000
3	25	36	18	Silty Clay	Stiff to Very Stiff	90000
4	36	52	30	Silty Clay	Very Stiff	120000
5	52	80	35	Silty Clay	Hard	240000

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\frac{c \cot \phi + \sigma_1}{c \cot \phi + p^{ref}} \right)^m \quad (5)$$

Untuk lapis tanah 1,2,4 dan 5 (studi kasusA) dan Untuk lapis tanah 1,2,3,dan 4 (studi kasus B) diperoleh dari hasil korelasi *plasticity index* dan *water content* dengan nilai m (Viggiani et al, 1997; Hicher, 1996).

4.8. Stress Dependency (m)

Besarnya nilai m dihitung menggunakan data hasil pengujian konsolidasi di Laboratorium dengan menggunakan persamaan berikut :

Tabel 8. Nilai m untuk lapis 3.

	c' (kN/m ²)	ϕ (°)	$c \cot \phi$	p_{ref} (kN/m ²)	E_{oed} (kN/m ²)	σ_1 (kN/m ²)	E_{oed}/E_{oed}^{ref}	$(\sigma_1' + c \cot \phi)/(\sigma_{ref} + c \cot \phi)$	m
BH-6	20	22	49.50	100	3000	200	4434	1.478	0.76
BH-2	20	22	49.50	100	3273	200	5175	1.581	0.89
Rata-rata									0.83

Tabel 9. Resume nilai m untuk tanah lapis 1 sampai tanah lapis 5.

Layer	Depth (m)		N-Average	Soil Type	Consistency	PI (%)	wL (%)	m
	From	To						
	1	0						
2	9	25	50	Sand	Dense	-	-	0.50
3	25	36	18	Silty Clay	Stiff to Very Stiff	37.88	54.38	0.83
4	36	52	30	Silty Clay	Very Stiff	36.20	44.37	0.82
5	52	80	35	Silty Clay	Hard	28.40	35.69	0.79

4.9. Lamda (λ) dan Kappa (κ)

Nilai lamda (λ) dan kappa (κ) diperoleh dari grafik hubungan logaritmik antara regangan volume, dan tegangan efektif rata-rata dari hasil tes laboratorium konsolidasi. Untuk tanah lapis 3, diperoleh nilai $\lambda^* = 0.07$ dan $\kappa^* = 0.01$.

Untuk tanah lapis 1,4 dan 5 diperoleh dari hasil korelasi berdasarkan nilai c_c (for slightly overconsolidated clay and silt tested in USA Louisiana Kaufmann and Shermann (1964) present the following values). dan e_o (Braja M. Das : Principles of Foundation Engineering).

Tabel 10. Resume nilai λ dan κ untuk tanah lapis 3.

Depth (m)	λ	κ	e_o	λ^*	κ^*
BH-6 (26-27 m)	0.14	0.025	0.941	0.074	0.013
BH-2 (34-34.5 m)	0.14	0.03	1.33	0.059	0.01
rata-rata				0.066	0.013

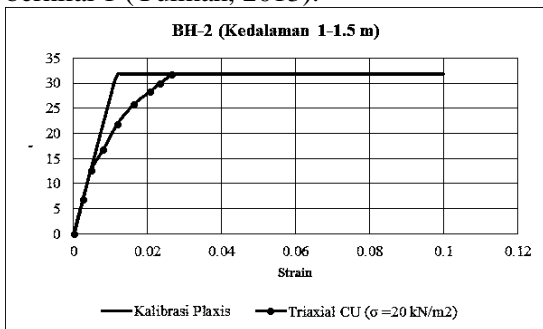
Tabel 11. Resume nilai λ dan κ untuk tanah lapis 1 sampai tanah lapis 5.

Layer	Depth (m)		N-Average	Soil Type	Consistency	λ^*	κ^*
	From	To					
	1	0					
2	9	25	50	Sand	Dense	-	-
3	25	36	18	Silty Clay	Stiff to Very Stiff	0.07	0.013
4	36	52	30	Silty Clay	Very Stiff	0.006	0.0006
5	52	80	35	Silty Clay	Hard	0.006	0.0006

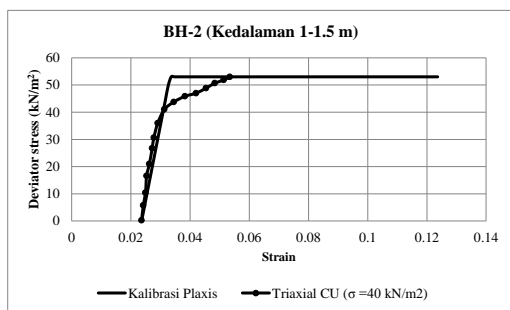
4.10. Prediksi Balik Parameter Tanah

4.11.1 Prediksi Balik Parameter c dan ϕ dengan Model Mohr-Coulomb

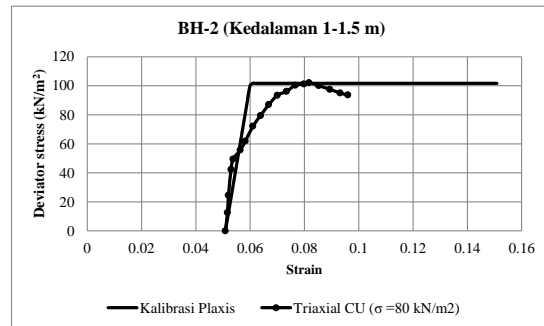
Prediksi balik parameter tanah dilakukan dengan menggunakan soil test di Plaxis. Prediksi balik dilakukan dengan menginputkan parameter c , ϕ , E' dan ν' menggunakan model Mohr-Coulomb. Prediksi balik parameter ini menghasilkan nilai p dan q untuk dibuat *stress path*nya sehingga menghasilkan parameter c , ϕ , c' dan ϕ' dari garis keruntuhan *stress path*. Untuk input parameter model Mohr-Coulomb perlu dilakukan reduksi untuk menyesuaikan dengan kurva stress-strain hasil laboratorium, karena effective stress path akibat excess pore pressure pada model Mohr-Coulomb terbatas pada parameter B Skempton yang maksimal bernilai 1 (Yulman, 2013).



Gambar 11. Contoh hasil prediksi balik kurva stress-strain untuk BH-2 (1-1.5m) untuk $\sigma_3=20 \text{ kN/m}^2$.

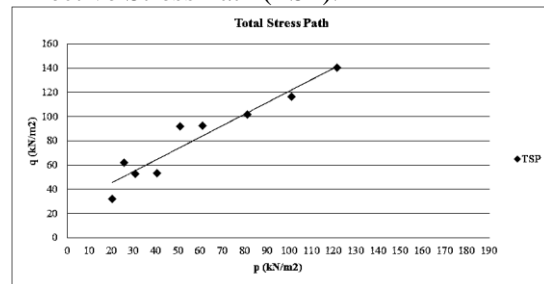


Gambar 12. Contoh hasil prediksi balik kurva stress-strain untuk BH-2 (1-1.5m) untuk $\sigma_3=40 \text{ kN/m}^2$.



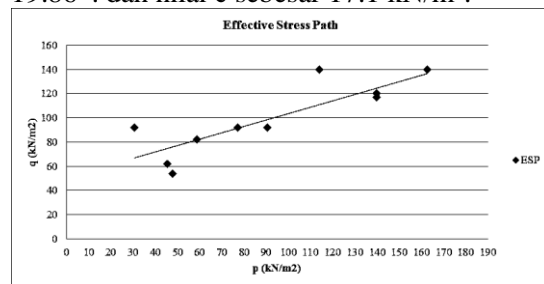
Gambar 13. Contoh hasil prediksi balik kurva stress-strain untuk BH-2 (1-1.5m) untuk $\sigma_3=80 \text{ kN/m}^2$.

Dari hasil stress path yang dihasilkan dari BH2, BH4 dan BH6 diatas, kemudian ketiga grafik tersebut digabungkan menjadi 1 grafik untuk menentukan garis keruntuhan baik untuk Total Stress Path (TSP) maupun Effective Stress Path (ESP).



Gambar 14. Garis keruntuhan untuk Total Stress Path (TSP).

Dari grafik diatas diperoleh nilai ϕ sebesar 19.86° dan nilai c sebesar 17.1 kN/m^2 .

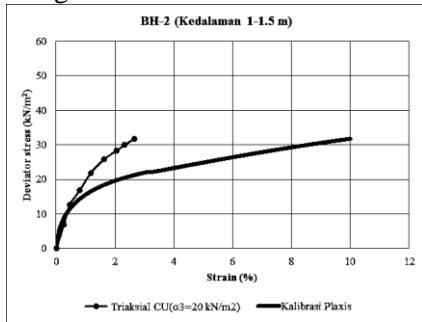


Gambar 15. Garis keruntuhan untuk Effective Stress Path (ESP).

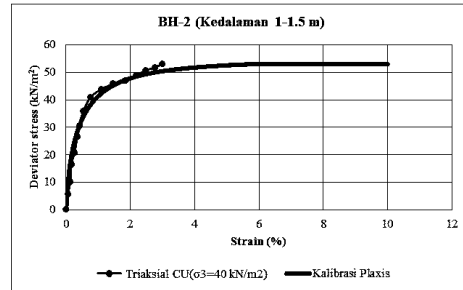
Dari grafik diatas diperoleh nilai ϕ sebesar 27.33° . dan nilai c sebesar 9.1 kN/m^2 .

4.11.2 Prediksi Balik Parameter E_{50}^{ref} , E_{oed}^{ref} dan E_{ur}^{ref} dengan Model Hardening Soil

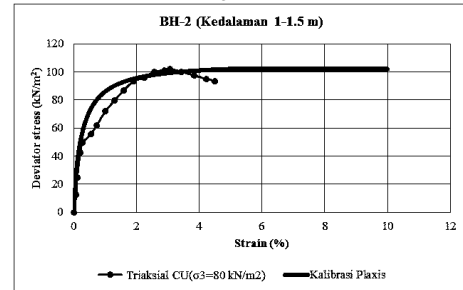
Prediksi balik parameter tanah dilakukan dengan menggunakan soil test di Plaxis. Prediksi balik dilakukan dengan menginputkan parameter E_{50}^{ref} , E_{50}^{ref} , E_{50}^{ref} , c , ϕ , v_{ur} , m , K_o^{Nc} menggunakan model Hardening Soil.



Gambar 16. Contoh hasil prediksi balik kurva stress-strain untuk BH-2 (1-1.5m) untuk $\sigma_3=20\text{kN/m}^2$.



Gambar 17. Contoh hasil prediksi balik kurva stress-strain untuk BH-2 (1-1.5m) untuk $\sigma_3=40\text{kN/m}^2$.

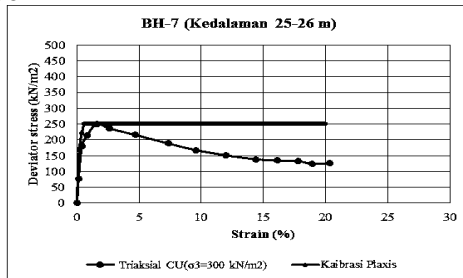


Gambar 18. Contoh hasil prediksi balik kurva stress-strain untuk BH-2 (1-1.5m) untuk $\sigma_3=80\text{kN/m}^2$.

Tabel 12. Resume nilai E50ref hasil kalibrasi

Depth (m)	σ_3 (kN/m ²)	E_{50} (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	$\sigma^{ref} + c \cot \phi$	$\sigma + c \cot \phi$	(Persamaan 7)		E_{50}^{ref} (kN/m ²)	m
							$\sigma^{ref} + c \cot \phi$	$\sigma + c \cot \phi$		
BH-2	20	4296	3	21.7	108	75	0.74	5803	0.82	
	40	11000	3	21.7	108	95	0.90	12227		
	80	18730	3	21.7	108	135	1.20	15588		
BH-4	25	11050	16	16.2	155	81	0.57	19240	0.85	
	50	23170	16	16.2	155	106	0.72	32078		
	100	30700	16	16.2	155	156	1.00	30585		
BH-6	30	14340	8	19.6	122	85	0.75	19128	0.79	
	60	18540	8	19.6	122	115	0.95	19479		
	120	25670	8	19.6	122	175	1.33	19359		
Rata-rata		17500						19276	0.82	

4.11.3 Prediksi Balik Parameter λ dan κ dengan Model Soft Soil



Gambar 19. Contoh hasil prediksi balik kurva stress-strain untuk BH-7 (25-26m) untuk $\sigma_3=300 \text{ kN/m}^2$

4.12 Kesimpulan dan Rekomendasi

Dari penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Prediksi balik parameter untuk masing-masing model tanah perlu dilakukan, agar Plaxis dalam merespon tegangan-regangan dapat mendekati perilaku tanah di laboratorium.
2. Dari ketiga model tanah yang digunakan menunjukkan hasil prediksi balik yang baik. Tetapi

direkomendasikan menggunakan model Hardening soil, karena kurva *stress-strain* nya lebih mendekati dengan hasil laboratorium.

3. Untuk model Mohr-Coulomb sebaiknya parameter *shear strength* dilakukan reduksi dan disesuaikan dengan kurva *stress-strain* nya.

5. Daftar Pustaka

- Bowles, Joseph E. (1982). “*Foundation Analysis and Design*”, Third Edition, Mc. Graw-Hill Companies, Inc, New York.
- Brinkgreve, R.B.L. (2002). “Plaxis 2D – version 8 manuals”. A.A. Balkema, Netherlands.
- Calvello, M. and Finno, R. (2004). “Selecting parameters to optimize in model calibration by inverse analysis.” *Computer and Geotechnics*, 31, 410-424.
- Das, Braja M. (2002). “*Principles of Geotechnical Engineering 5th Edition*”, Thomson Learning, Inc.
- Hicher, P.Y. (1996). “*Elastic properties of soils*”, *J. of Geotechnic Engineering*, ASCE, 122-8, 641-648.
- Jamiolkowski M., Lancellotta R., Marchetti S., Nova R., Pasqualini E. (1979). “*Design parameters for soft clays*”, 7 ECSMFE, Brighton, 5, 27-57.
- Kaufman, R. I., and Sherman, W. C. (1964). “*Engineering measurements for Port Allen Lock*”, *J. Soil Mech. Found. Div.*, 90(5), 221-247.
- Kempfert, Hans-Georg dan Gebreselassie, Berhane. (2006). “*Excavations and Foundations in Soft Soils*”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ladd, CC. and Foot, R. (1974). “*New design procedure for stability of soft clays*”, *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol 100, No GT7, pp 763-786.
- Robertson, P.K. & Campanella, R.G. (1983). “*Interpretation of Cone Penetration Tests, Parts 1 and 2*”, *Canadian Geotechnical J.* 20:718-745.
- Skempton, A.W. (1957). “*Discussion: Further data on the c/p ratio in normally consolidated clays*”, *Proc. Inst. Civ. Eng.* 7, 305-307.
- Yulman, M. A. (2013). “*Studi Sensitivitas Pengaruh Stress – Strain Pada Parameter Tanah Lempung Untuk Galian Dalam*”, Tesis Program Magister, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.

