

PENGARUH PASIR, ABU TERBANG, DAN AIR PADA KARAKTERISTIK MEKANIS TANAH LEMPUNG

Soewignjo Agus Nugroho^{1*}, Ferry Fatnanta², Syawal Satibi², Muhamad Yusa², Agus Ika Putra¹
Gunawan Wibisono¹

¹Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru
Jl. H.R. Subrantas KM 12, Pekanbaru, Riau 28293, Indonesia

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Gedung C Lantai 2 Fakultas Teknik Jl HR Subrantas, Pekanbaru, Indonesia

*Corresponding author: nugroho.sa@eng.unri.ac.id

Abstract

The shear strength and bearing capacity of soil are influenced by its type, mineral composition, and particle size. Both cohesion and the friction angle play significant roles in determining soil strength, while density is crucial for supporting forces. This study examines the effects of grain size, soil minerals, and water content on the shear strength and bearing capacity of soil. Various tests such as California Bearing Ratio, Direct Shear, and Unconfined Compression Test are conducted on sand and clay, compacted with different numbers of strikes and water contents. The study also explores the impact of organic soil and fly ash on shear strength. Additionally, immersion tests are performed to assess how water absorption affects the soil's properties. Results show that compression at the optimum moisture content (OMC) produces the highest strength, while compression at higher moisture levels results in greater strength loss compared to drier conditions. At a constant water content, increased soil density leads to higher bearing capacity. Conversely, excess water content reduces the soil's strength. The presence of clay, fly ash, and organic material increases water absorption capacity. In sandy soils, the distribution of grain size significantly influences shear behavior. The addition of clay enhances both the friction angle and soil cohesion, while higher fly ash content tends to reduce the friction angle and improve soil cohesion. Interestingly, cohesion appears to be unaffected by the sand's gradation.

Keywords: Bearing capacity, clay, fly ash, shear strength, sand.

Abstrak

Kuat dukung tanah bergantung dari jenis tanah, mineral penyusun, dan ukuran butiran tanah. Kuat geser tanah dipengaruhi kohesi dan sudut gesek internal, di lain sisi kepadatan tanah berperan penting terhadap daya dukung. Penelitian bertujuan melihat pengaruh ukuran butiran, mineral tanah, dan kadar air terhadap kuat geser dan daya dukung tanah. Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR), *Direct Shear* (DS), dan *Unconfined Compression Test* (UCS) dilakukan pada tanah pasir dan lempung yang dipadatkan dengan variasi jumlah pukulan dan kadar air. Penambahan tanah organik dan abu terbang dilakukan untuk melihat efek terhadap perubahan daya dukungnya. Perendaman dilakukan untuk mengamati sifat campuran dalam menyerap air. Hasil menunjukkan bahwa pemadatan yang dilakukan pada kadar air optimum menghasilkan kekuatan maksimal, sementara pemadatan pada kadar air sisi basah, penurunan kekuatan lebih besar dibandingkan pada sisi kering. Pada kadar air yang sama, kepadatan yang lebih tinggi akan menghasilkan daya dukung yang lebih tinggi. Penambahan air mengakibatkan penurunan kekuatan tanah. Semakin banyak kandungan lempung, abu terbang, dan tanah organik penyerapan air akan semakin besar. Pada tanah pasir, distribusi ukuran butir sangat mempengaruhi kuat geser tanah. Penambahan lempung akan meningkatkan nilai sudut gesek dan kohesi tanah, sementara pada kadar tinggi akan menurunkan sudut gesek tanah dan meningkatkan kohesi tanah. Kohesi tanah tidak bergantung pada gradasi butiran pasir.

Kata Kunci : Abu terbang, daya dukung, kuat geser, lempung, pasir.

PENDAHULUAN

Sudut gesek internal tanah (ϕ) dan kohesi (c) adalah dua faktor yang mempengaruhi kuat geser tanah (Bowles, 1981; Hardiyatmo, 2002). Nilai ϕ didapat dari gesekan tanah antar butiran kasar (*coarse grain*) dan kohesi merupakan lekatan pada butiran halus (*fine grain*) (Budhu, 2011). Faktor lain yang bisa meningkatkan kuat geser dan daya dukung

tanah adalah stabilisasi, baik secara mekanik (pemadatan), kimiawi, ataupun kombinasi mekanik-kimiawi (Afrin, 2017). Stabilisasi secara kimiawi biasa dilakukan dengan menambahkan material lain yang mempunyai sifat lebih baik atau dengan bahan aditif seperti semen, kapur, aspal, geopolimer abu terbang, dan sebagainya. Pada stabilisasi kimiawi, bahan aditif membutuhkan waktu untuk bereaksi membentuk ikatan kuat dengan butiran tanah dan air (Sharma dkk., 2018; Zeng dkk., 2021; Pham dkk., 2022). Air yang terlalu banyak juga akan menurunkan kekuatan tanah (Yaghoubi dkk., 2019).

Penambahan material lain seperti pasir-batu (sirtu) (Nugroho dkk., 2017; Samangeni dan Naderi, 2022), pasir, abu terbang (Nugroho dkk., 2016), abu dasar (Nugroho dkk., 2022), serat (Nugroho dkk., 2013) terbukti meningkatkan daya dukung tanah. Penambahan bahan aditif semen (Hartosukma, 2005; Luhur dkk., 2016) atau kapur (Zulnasari dkk., 2021; Nugroho dkk., 2022) sampai dengan 6% juga terbukti meningkatkan kuat geser tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat geser dan daya dukung tanah, secara komprehensif, akan dilihat efeknya pada tanah lempung. Material yang ditambahkan berupa tanah gambut, pasir dengan variasi gradasi, dan abu terbang. Bahan aditif yang ditambahkan berupa kapur dengan kadar 5%. Pemeraman dan perendaman juga akan dilihat pengaruhnya terhadap nilai kuat geser dan daya dukung.

METODOLOGI

Material dan Bahan

Tanah Pasir diambil dari daerah Panam, sementara lempung asli diambil dari Muara Fajar di Pekanbaru. Abu terbang berasal dari sisa pembakaran batubara, diambil di PT IKPP (Indah Kiat Pulp and Paper). Kapur dipilih dari jenis kapur padam (*quick lime*), yang dijual bebas di pasaran. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau.

Metode

Penelitian dibagi dua jenis pengujian yaitu pengujian pendahuluan dan pengujian utama. pengujian pendahuluan berupa pengujian *specific gravity*, pengujian batas-batas konsistensi dan pengujian gradasi butiran. Lempung asli dari Muara Fajar ditentukan terlebih dahulu jenisnya sesuai USCS demikian juga dengan tanah pasir. Gradasi butiran tanah pasir asli, dikurangi dan atau ditambahkan untuk membentuk gradasi baik (*well graded*) dan gradasi buruk (*poorly graded*). Gradasi buruk dibedakan menjadi gradasi timpang (*gap graded*) dan gradasi seragam (*uniform graded*) yang masing-masing dipisahkan antara butiran halus (*fine grain*) dan butiran kasar (*coarse grain*). Hasil pengujian *specific gravity* pada kelas gradasi dan campuran tanah ditampilkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Parameter tanah

Deskripsi	Klasifikasi	Parameter						Re- mark
		D ₁₀	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	Cu	Cc	
Clay (asli)	CH	-	-	-	-	-	-	CH
Sand (asli)	SP	0,17	0,20	0,24	2,40			SP
Gap Graded sand	<i>fine</i>	0,19	0,30	0,50	0,83	46,00	8,70	SP
Gap Graded sand	<i>coarse</i>	0,24	0,32	0,39	0,40	61,70	0,59	SP
Uniform Graded sand	<i>fine</i>	0,16	0,20	0,24	0,28	4,20	0,60	SP
Uniform Graded sand	<i>coarse</i>	1,02	1,40	2,00	2,30	31,70	4,80	SP
Well Graded sand	SW	0,23	0,80	2,00	2,30	8,50	0,22	SW

Pengujian utama terdiri dari pengujian daya dukung tanah (CBR) dan pengujian kuat geser tanah (DS dan UCS). Pengujian utama dilakukan dengan variasi kadar air dan perendaman (faktor *swelling*). Variasi kadar air ditentukan pada nilai batas air optimum (*optimum moisture content* /OMC), sisi kering (di bawah OMC), dan sisi basah (di atas OMC). Pemadatan pada sampel dilakukan dengan mengacu energi kompaksi sesuai *standard proctor*. Variasi kadar air akan menghasilkan kepadatan tanah yang berbeda, sementara perendaman akan menunjukkan tingkat penyerapan air (Absorpsi) dari sampel.

Tabel 2 Distribusi nilai *specific gravity* lempung dengan campuran

Deskripsi	Klasifikasi tanah		Code	Clay content (%)				
	USCS	AASHTO		0	90	80	70	60
Poorly graded (asli)	SP	A-1	SP	2,636	2,675	2,674	2,671	2,655
SP - gap graded (fine)			P-gf	2,664	2,665	2,665	2,666	2,667
SP - gap graded (coarse)			P-gc	2,664	2,665	2,665	2,666	2,667
SP - uniform (fine)			P-uf	2,664	2,665	2,665	2,666	2,667
SP - uniform (coarse)			P-uc	2,664	2,665	2,665	2,666	2,667
Well graded			SW	2,664	2,665	2,665	2,666	2,667
Gambut (tanah organik)	OL	Pt	Pt	1,630	2,560	2,480	2,320	2,110
Abu terbang	C	-	FA	2,614	2,669	2,663	2,656	-
Kapur	-	-	L	-	-	-	-	-

Pengujian CBR dilakukan pada kondisi tanpa rendaman (*unsoaked*) dan dengan rendaman (*soaked*) selama 5 hari. Perawatan (*curing*) pada sampel dilakukan selama 28 hari, bahan tambah diberi waktu untuk membentuk ikatan. Perawatan tanpa curing hanya memberi waktu 1 - 3 jam setelah pemadatan (*as compacted*) pada sampel dilakukan pengujian.

Pengujian UCS (*Unconfined Compression Test*) dilakukan setelah dilakukan perawatan selama 1-3 jam (*non-curing*) dan pemeraman selama 28 hari (*curing*). Pengujian UCS dilakukan tanpa melalui proses perendaman selama 5 hari. Sampel hanya direndam selama 15 menit.

Pengujian DS (*Direct Shear*) dilakukan pada tanah kepasiran, untuk melihat perubahan nilai sudut gesek internal tanah (ϕ) dan kohesi (c). Pengujian dilakukan dengan memasukan sampel, pada kadar air di OMC, seberat 200-gram pada alat uji DS. Uji geser langsung dilakukan langsung setelah sampel diletakan pada cetakan (tanpa pre-loading), variasi 1, dan sampel yang telah dibebani terlebih dahulu selama 24 jam (dengan *pre-loading*).

PEMBAHASAN

Lempung asli mempunyai nilai LL (*liquid limit*), PL (*plastic limit*), PI (*plasticity index*) berturut-turut 30,80%; 20,50%; dan 10,30%. Menurut USCS tanah lempung masuk kategori lempung plastisitas rendah. Hasil pengujian CBR campuran tanah lempung dengan pasir, campuran lempung dengan gambut, dan campuran lempung dengan abu terbang yang telah dirangkum dalam Tabel 3 sampai dengan Tabel 5.

Tabel 3 Nilai CBR dengan dan tanpa rendaman campuran pasir dan lempung

Jenis Tanah	Kadar air		OM C	Soaked (%)		Unsoaked (%)		
	OMC	Jenuh		+20x	+60x	OMC	+20	+60x
Poorly Graded Sand (S)								
Clay (C)	17,90	22,80	13,21	10,80	10,80	24,19	17,95	4,35
90% C + 10% S	17,45	20,30	13,88	13,40	11,50	25,66	18,27	5,29
80% C + 20% S	14,00	19,20	18,39	16,67	16,67	30,90	26,26	4,99
70% C + 30% S	13,80	16,75	20,55	20,50	18,54	33,93	27,10	6,54
60% C + 40% S	11,80	15,75	23,89	23,70	20,97	34,68	28,78	6,76

Notes: x= Selisih kadar air kondisi jenuh dengan kondisi OMC

Merujuk Tabel 3, penambahan pasir meningkatkan nilai CBR tanah sementara penambahan kadar air akan menurunkan nilai CBR. Perendaman akan meningkatkan kandungan air dan menurunkan kepadatan tanah karena proses pengembangan (*swelling*) tanah. Penambahan kadar air pada CBR tanpa rendaman, sangat berpengaruh terhadap nilai CBR. Semakin tinggi tambahan air dan kandungan lempung, maka nilai CBR akan semakin turun. Pada sisi yang lain, untuk CBR dengan rendaman (*soaked*), penambahan kandungan air tidak begitu berpengaruh terhadap nilai CBR, yang disebabkan karena kadar air sampel masih dibawah kadar air pada kondisi sampel jenuh.

Tabel 4 Nilai CBR dengan dan tanpa rendaman campuran gambut dan lempung

	Kadar air		Soaked (%)			Unsoaked (%)		
	OMC	X	OMC	+20x	+60x	OMC	+20	+60x
<i>Fibrous Peat (Pt)</i>								
<i>Clay (C)</i>	17,90	5,25	13,21	10,80	10,80	24,19	17,95	4,35
90% C + 10%Pt	22,50	1,70	2,75	2,75	2,70	3,25	2,30	1,40
80% C + 20% Pt	24,50	4,66	1,33	1,31	1,30	1,79	0,83	0,43
70% C + 30% Pt	30,50	4,90	0,88	0,88	0,85	0,94	0,60	0,56
60% C + 40% Pt	33,50	4,90	0,81	0,80	0,80	0,62	0,42	0,16

Tabel 5 Nilai CBR dengan dan tanpa rendaman campuran abu terbang dan lempung

	Kadar air		Soaked (%)			Unsoaked (%)		
	OMC	X	OMC	+20x	+60x	OMC	+20	+60x
<i>Fly Ash (F)</i>								
<i>Clay (C)</i>	17,90	4,87	13,21	10,80	10,80	24,19	17,95	4,35
90% C + 10%FA	19,86	1,14	15,63	15,52	15,36	22,55	20,68	14,83
80% C + 20% FA	21,36	4,98	13,64	13,11	11,06	24,79	24,19	11,54
70% C + 30% FA	24,89	3,35	14,38	13,92	13,52	26,14	25,33	20,68
60% C + 40% FA	25,50	3,10				25,99		

Penambahan kadar air pada sisi basah, tidak berpengaruh pada nilai CBR rendaman seperti disajikan pada Tabel 4. Penambahan tanah organik (gambut), sangat signifikan menurunkan nilai CBR. Sifat tanah gambut yang mempunyai makro (ruang di antara serat) pori dan mikro (ruang dalam serat) pori yang merupakan bagian terlemah dalam campuran. Penetrasi sat pengujian CBR kemungkinan dominan terjadi pada bagian lapisan tanah gambut

Tabel 5 menyimpulkan bahwa kadar optimal abu terbang ada pada rentang antara 20% dan 30%, karena pada penambahan abu terbang 40%, nilai CBR lebih kecil daripada Nilai CBR campuran lempung dengan kandungan abu terbang 30%. Pada kadar abu terbang lebih dari 20% tersebut, memiliki nilai CBR lebih tinggi daripada tanah asli. Hasil perbandingan nilai CBR dan kuat tekan bebas (qu) pada campuran lempung dan pasir dengan variasi gradasi ditunjukkan pada Tabel 6.

Pemadatan pada sisi basah juga akan menurunkan nilai CBR sangat besar jika dibandingkan kondisi OMC. Pada kadar abu terbang 20% misalnya, pemadatan pada kadar air 24,5% (OMC+60%X) menurunkan nilai CBR dari 24,79% menjadi 11,54%. Selain itu nilai kuat geser hasil pengujian *direct shear* campuran pasir dan lempung dengan dan tanpa *pre-loading* dirangkum pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 6 Nilai CBR dan qu campuran lempung dan pasir bergradasi (+lime 5%)

Deskripsi	Gradasi	w (%)	Berat volume (kN/m ³)	Curing 1 jam		Curing 28 hari	
				CBR (%)	qu (kPa)	CBR (%)	qu (kPa)
<i>Sand</i>							
<i>Clay</i>		25,20	14,58	-	185,42	-	661,08
	<i>well graded</i>	20,10	16,80	10,09	574,77	31,23	844,40
	<i>gap fine grad</i>	21,00	16,30	19,48	682,13	39,34	818,98
70% C + 30% S	<i>gap coarse</i>	22,50	16,20	17,23	598,01	38,76	981,61
	<i>uniform fine</i>	21,80	16,00	14,88	832,91	35,61	1034,20
	<i>uniform coarse</i>	18,00	17,00	19,98	623,51	40,05	663,99
	<i>well graded</i>	17,50	17,58	14,98	661,08	35,55	719,19
	<i>gap fine grad.</i>	17,20	16,95	23,98	774,50	43,12	894,21
60% C + 40% S	<i>gap graded</i>	16,50	17,00	22,04	544,79	43,05	659,59
	<i>uniform fine</i>	18,20	17,10	18,74	791,77	41,94	941,35
	<i>uniform coarse</i>	16,80	17,50	23,61	737,31	42,85	794,42

Tabel 7 Nilai kuat geser hasil pengujian *direct shear* campuran pasir dan lempung (dengan *pre-loading*)

Deskripsi	Sudut gesek internal (°)					Koheksi (kPa)				
	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40
<i>Well graded</i>	43,35	37,20	33,10	29,60	27,35	0,00	6,60	7,40	20,50	27,10
<i>Gap-fine</i>	28,00	37,00	40,50	32,50	36,00	0,00	0,25	3,20	5,80	3,20
<i>Gap-coarse</i>	30,50	31,00	26,00	31,30	27,00	0,00	4,10	7,15	6,00	7,40
<i>Uniform-fine</i>	37,50	36,70	25,00	24,50	27,50	0,00	5,90	7,50	6,00	5,00
<i>Uniform-coarse</i>	33,00	40,00	30,00	35,10	42,00	0,00	5,00	10,15	10,90	3,00
<i>Sand (SP)</i>	42,30	40,00	37,75	37,50	39,50	0,00	2,30	5,10	4,45	3,00

Tabel 8 Nilai Kuat geser hasil pengujian *direct shear* campuran pasir dan lempung (tanpa *pre-loading*)

Deskripsi	Sudut gesek internal (°)					Koheksi (kPa)				
	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40
<i>Well graded</i>	41,35	36,10	31,20	28,45	26,20	0,00	6,00	7,00	20,00	27,00
<i>Gap-fine</i>	31,00	35,40	39,00	37,40	39,85	0,00	1,00	0,45	1,00	0,40
<i>Gap-coarse</i>	31,00	30,90	32,00	35,00	34,90	0,00	3,00	2,20	4,50	4,00
<i>uniform-fine</i>	32,00	35,00	25,00	30,40	33,50	0,00	3,50	9,00	2,50	2,00
<i>uniform-coarse</i>	35,40	35,50	39,00	43,70	44,50	0,00	1,00	6,50	3,50	0,40
<i>sand (SP)</i>	32,50	40,50	42,50	40,60	40,00	0,00	0,60	3,40	2,50	5,00

KESIMPULAN

Specific gravity hanya dipengaruhi oleh material penyusun tanah. Pemadatan yang dilakukan pada sisi basah berpengaruh besar terhadap penurunan kekuatan tanah. Kandungan lempung yang kecil akan meningkatkan friksi tanah dan koheksi tanah, tetapi pada kadar tinggi menurunkan friksi tanah. Tanah organik (gambut) yang terkandung dalam tanah, akan mengurangi kekuatan tanah yang tinggi. Penggantian lempung dengan material yang lebih baik akan meningkatkan daya dukung tanah. Gradasi pasir sangat berpengaruh pada sudut gesek internal tanah, ukuran butiran yang saling mengunci (*well graded*) akan menghasilkan nilai friksi yang maksimal. Perlu dilakukan optimasi bahan aditif, dan komposisi kandungan lempung dan pasir yang optimal, sehingga mendapatkan tanah dengan kuat geser dan daya dukung tertinggi.

REFERENSI

- Afrin, H. (2017). A review on different types soil stabilization techniques. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*, 3(2), 19-24.
- Bowles, J.E. (1981). *Physical and geotechnical properties of soils*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 18(6), p.109. doi:10.1016/0148-9062(81)90529-5.
- Budhu, M. (2011). *Soil mechanics and foundations*. 12th edn. New York: John Wiley & Sons.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah I*. 3rd edn. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hartosukma, E.W. (2005). *Perilaku tanah lempung ekspansif Karangawen Demak akibat penambahan semen dan fly ash sebagai stabilizing agents*. Tesis. Universitas Diponegoro.
- Luhur, B., Ariyanto, A. and Rismalinda. (2016). 'Stabilisasi tanah gambut dengan campuran Portland cement ditinjau dari nilai California Bearing Ratio (CBR)', *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), pp.1-7.
- Nugroho, S.A., Fatnanta, F. and Lembasi, M.K. (2022). 'Pengaruh nilai CBR terhadap penambahan fly ash dan bottom ash pada tanah lempung', *Rekayasa Sipil*, 16(1), pp.15-24.
- Nugroho, S.A., Muhandi, M. and Ningrum, P. (2016). *Pemanfaatan limbah abu terbang PT IKPP untuk campuran tanah setempat sebagai timbunan subgrade jalan*.
- Nugroho, S.A., Suratman and Pratama, D. (2017). 'Kajian rentang kadar air terhadap nilai kuat geser perbaikan sirtu dengan metode CTB', in *KoNTeKS 11*, October, pp.47-54.

- Nugroho, S.A., Wibisono, G. and Kasbi, F. (2013). 'Analisa peningkatan kekuatan tanah yang diperkuat serat dan bahan stabilisasi pada sisi kering dan sisi basah', *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), pp.137–144.
- Nugroho, S.A., Zulnasari, A., Fatnanta, F. and Putra, A.D. (2022). 'Mechanical behavior of clay soil stabilized with fly ash and bottom ash', *Makara Journal of Technology*, 26(1), pp.1–7. doi:10.7454/mst.v26i1.1444.
- Pham, V., Oh, E., & Ong, D. (2022). Effects of binder types and other significant variables on the unconfined compressive strength of chemical-stabilized clayey soil using gene-expression programming. *Neural Computing and Applications*, 34, 9103-9121. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-06931-0>.
- Samangani, A., & Naderi, R. (2022). Numerical and Large-Scale Laboratory Study of Rock Column Groups in Sandy Soil Behavior Improvement. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2022/9259093>.
- Sharma, L., Sirdesai, N., Sharma, K., & Singh, T. (2018). Experimental study to examine the independent roles of lime and cement on the stabilization of a mountain soil: A comparative study. *Applied Clay Science*, 152, 183-195. <https://doi.org/10.1016/J.CLAY.2017.11.012>.
- Yaghoubi, M., Arulrajah, A., Disfani, M., Horpibulsuk, S., Darmawan, S., & Wang, J. (2019). Impact of field conditions on the strength development of a geopolymer stabilized marine clay. *Applied Clay Science*, 167, 33-42. <https://doi.org/10.1016/J.CLAY.2018.10.005>.
- Zeng, L., Bian, X., Zhao, L., Wang, Y., & Hong, Z. (2021). Effect of phosphogypsum on physiochemical and mechanical behaviour of cement stabilized dredged soil from Fuzhou, China. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 25, 100195. <https://doi.org/10.1016/j.gete.2020.100195>.
- Zulnasari, A., Nugroho, S.A. and Fatnanta, F. (2021). 'Perubahan nilai kuat tekan lempung lunak distabilisasi dengan kapur dan limbah pembakaran batubara', *Jurnal Rekayasa Sipil*, 17(1), pp.24–36.