ISSN: 2622-5549

PENINGKATAN NILAI KEPADATAN TANAH LUNAK PENCAMPURAN DENGAN LIMBAH PASIR GALIAN C DAN AIR LAUT

ENHANCING SOFT SOIL DENSITY USING EXCAVATION SAND WASTE (GALIAN C) AND SEAWATER MIXTURES

Asrul Saputra[1], Rokhman[2], Retno Puspa Rini[3], Iqbal[4], Ahmad Januar Jafaruddin[5]
[1,2,3,4,5] Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sorong, Jl. Pendidikan No.27, Kelurahan Klabulu, Malaimsimsa, Kota Sorong, 98416, Indonesia
Email: asrulsaputra.as7@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh campuran pasir dan air laut terhadap nilai kepadatan tanah lunak. Tanah lunak yang memiliki daya dukung rendah karena sifatnya yang menyerap air secara berlebihan, maka diperbaiki dengan mencampurkan pasir untuk mengendalikan kadar air. Pengujian dilakukan menggunakan air tawar dan air laut untuk menganalisis perbedaan nilai kepadatan kering maksimum (γ dry max) serta kadar air optimum (Wopt). Hasil menunjukkan bahwa penambahan pasir meningkatkan kepadatan tanah, dengan pencampuran optimal pada kisaran 42-45% pasir. Air laut memberikan hasil kepadatan hampir setara dengan air tawar, meskipun terdapat sedikit penurunan dalam nilai berat jenis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi campuran pasir meningkatkan kepadatan tanah lunak, sementara air laut memberikan alternatif yang layak untuk mengurangi penggunaan air tawar di daerah pesisir.

Kata kunci: *Air Laut, Campuran Pasir, Kadar Air Optimum, Kepadatan Tanah Lunak*

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effect of mixing sand and seawater on the density of soft soil. Soft soil, which has low bearing capacity due to its excessive water absorption, is improved by adding sand to control its moisture content. Testing was conducted using both freshwater and seawater to analyze the differences in maximum dry density (γdry max) and optimum moisture content (Wopt). The results indicate that the addition of sand increases soil density, with the optimal mixture ranging between 42-45% sand. Seawater produced density results nearly equivalent to freshwater, although there was a slight decrease in specific gravity values. The findings demonstrate that variations in sand mixtures improve the density of soft soil, while seawater offers a viable alternative to reduce freshwater usage in coastal areas.

Keywords:*Optimum Moisture Content, Sand Mixtures, Seawater, Soft Soil Density*

DOI: https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i1.51914

PENDAHULUAN

Sampai dengan tahun 2024 penelitian untuk meningkatkan nilai kepadatan tanah lunak yang dicampur pasir masih terus dilakukan oleh Rückrich dkk. (2024) serta Alnmr dan Ray (2024), dalam rangka pengembangan ilmu geoteknik untuk diaplikasikan pada konstruksi yang lebih modern. Kekurangan tanah lunak adalah sifatnya yang lunak karena kemampuan menyerap air yang tinggi sehingga menyebabkan daya dukung yang rendah (Amania dkk., 2021). Dengan demikian, penambahan pasir dapat mengendalikan air yang masuk ke dalam tanah guna meningkatkan daya dukungnya.

Tanah lunak dan pasir adalah istilah yang digunakan untuk memahami batasan ukuran partikel yang telah ditentukan. Sifat partikel tanah lunak adalah kohesif dan plastis, sedangkan partikel pasir bersifat tidak kohesif (Hardiyatmo, 2002). Karena tidak kohesif, di antara partikel pasir akan saling lepas. Sehingga, kadar air yang tinggi pada tanah lunak akan menurun seiring penambahan pasir. Namun, untuk meningkatkan nilai kepadatan tanah juga bisa dilakukan dengan mengganti air tawar dengan air laut, seperti yang dilakukan oleh Bilgen dan Kavak (2010) serta Otoko (2014). Menurutnya, penggunaan air laut pada tanah lunak akan menurunkan nilai kepadatan, tetapi terjadi peningkatan pada tanah lunak campur pasir. Dijelaskan oleh Lopez-Lara dan Castaño (2001) bahwa ion garam mungkin menyebabkan koagulasi partikel tanah liat yang memengaruhi hasil uji pemadatan, serta reaksi kimia antara garam dan partikel tanah yang mengeraskan tanah dan meningkatkan nilai kepadatannya.

Dibutuhkan solusi untuk mengatasi krisis air bersih di Indonesia, seperti penghematan air, pemanfaatan air hujan, dan reboisasi, yang terintegrasi dalam tata kelola ibu kota provinsi guna menghadapi bencana dan krisis air, dengan dukungan dari semua pihak (Pristianto dan Butudoka, 2023). Oleh sebab itu, pemanfaatan air laut di wilayah pesisir Ibu Kota Provinsi Papua Barat Daya perlu ditingkatkan. Tercatat oleh Ramadhan dkk. (2020) untuk wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di Provinsi Papua Barat memiliki panjang garis pantai 12.455 km dengan luas wilayah kelola laut 106.598,65 km^2. Selain itu, fokus pada kawasan perbukitan dipandang perlu karena Rusdi dkk., (2023) memprediksi bahwa 5 tahun yang akan datang kapasitas sedimen sungai di Kota Sorong meningkat sebesar 124.007,647 ton. Salah satu upaya yang dilakukan oleh ANJ Group dengan menanam 19.380 jenis pohon di area rehabilitasi DAS seluas 13 ha dengan persentase tumbuh tanaman hidup rata-rata sebesar 94,76%.

Sebagai bentuk kontribusi dan kepedulian terhadap lingkungan maka diharapkan penelitian ini akan memberikan dampak nyata. Penggunaan material subtitusi seperti pasir maupun air laut untuk tanah lunak telah banyak dikaji. Di Indonesia banyak yang mengkaji tentang pengaruh pasir terhadap tanah lunak seperti Amania dkk., (2021), Reno dkk., (2020), dan Dwipayana dkk., (2023). Namun, ketersediaan sumber material limbah pasir dan air laut di Ibu Kota Provinsi Papua Barat Daya perlu dikaji lagi untuk menganalisis peningkatan nilai kepadatan tanah.

METODE

Untuk setiap perancangan pada bangunan gedung, bangunan air, serta jalan dan jembatan diperlukan standar bidang geoteknik. Berdasarkan SNI 8460 pada tahun 2017, terdapat 9 bidang geoteknik dan kegempaan diantaranya stabilitas lereng dan timbunan, fondasi, terowongan, kegempaan, penyelidikan geoteknik, struktur penahan, keruntuhan hidraulik, dan perbaikan tanah. Penjelasan terkait Standar Pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah, Teknik Sipil, Unamin disajikan pada Tabel 1.

DOI: https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i1.51914

Tabel 1. Standar Pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah, Teknik Sipil, Unamin

No	Pengujian	Standar Acuan	Tanah Lunak (L)		
			Air Tawar (a)	Air Laut (b)	Limbah Pasir (c1-c6)*
1	Kadar Air	SNI-1965-2008, ASTM D2216-10	✓	✓	✓
2	Berat Jenis	SNI-1964-2008, ASTM D854-10	✓	✓	✓
3	Atterberg Limit	SNI-1967-2008, D2216-10; D4318-10	✓	✓	-
4	Analisa Butiran	SNI-3423-2008, ASTM: D6913-04-2009	✓	-	-
5	Kompaksi	SNI-1743-2008, ASTM D698-12	✓	✓	✓

*Persentase pencampuran pasir sebagai berikut: (c1) = 33%; (c2) = 36%; (c3) = 39%; (c4) = 42%; (c5) = 45%; (c6) = 48%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini diperoleh dari analisis data uji laboratorium berupa tanah lunak dengan campuran air tawar (a), air laut (b), dan limbah pasir (c). Dengan dilakukannya pengujian menjadi 2 bagian yaitu pengujian fisik dan mekanis sebagaimana penyelidikan tanah pada umumnya maka dapat dianalisis ketiga material tersebut untuk mendapatkan hasilnya.

Berikut ini Tabel 2 disajikan sifat fisik tanah lunak dengan air tawar dan air laut.

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik Sifat Fisik

Sifat Fisik	(L)	
	(a)	(b)
Berat Jenis (Gs)	2,357	2,342
Atterberg Limits (%)		
- LL	55,20	49,82
- PL	26,33	22.70
- PI	28,86	27,12
Analisa Butiran (%)		
- Pasir (*Sand*)	8	
- Lanau (*Silt*)	60	
- Lempung (*Clay*)	32	

Untuk lebih mudah memahami pengaruh sifat fisik antara penggunaan air tawar dan air laut pada tanah lunak maka berikut ini disajikan Gambar 1.

Gambar 1. Hasil Uji Tanah Lunak (L) dengan Air Tawar (a) dan Air Laut (b) berdasarkan Nilai Berat Jenis dan Bobot Nilai Atterberg Limits

Menara: Jurnal Teknik Sipil, Vol 20 No 1 (2025)
DOI: https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i1.51914

Pada Gambar 1 menunjukkan adanya perbedaan yang tidak signifikan. Perbedaan ini mungkin disebabkan karena variasi komposisi mineral atau tekstur tanah yang mempengaruhi sifat plastisitasnya. Pengaruh kadar air menunjukkan karakteristik plastisitas tanah yang sedikit berbeda antara penggunaan air tawar dan air laut.

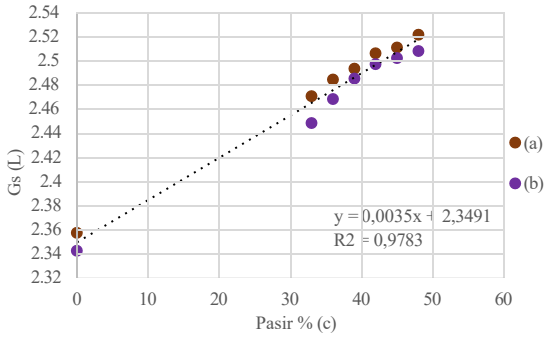
1. Hubungan Nilai Gs (Berat Jenis) Variasi Campuran (L), (a), (b), dan (c)

Berikut ini disajikan Tabel 3 dan Gambar 2 merupakan hubungan nilai berat jenis tanah lunak dengan berbagai variasi campuran air tawar, air laut, dan pasir. Hasilnya semakin menguatkan alasan pada Gambar 1.

Tabel 3. Hasil Variasi Campuran Berat Jenis

(L)	(c1)	(c2)	(c3)	(c4)	(c5)	(c6)
(a)	2,471	2,484	2,493	2,506	2,511	2,522
(b)	2,448	2,468	2,485	2,497	2,502	2,508

Pada Gambar 2 disajikan grafik hubungan positif antara persentase pasir dan berat jenis tanah (Gs), dimana peningkatan pasir menyebabkan kenaikan berat jenis.

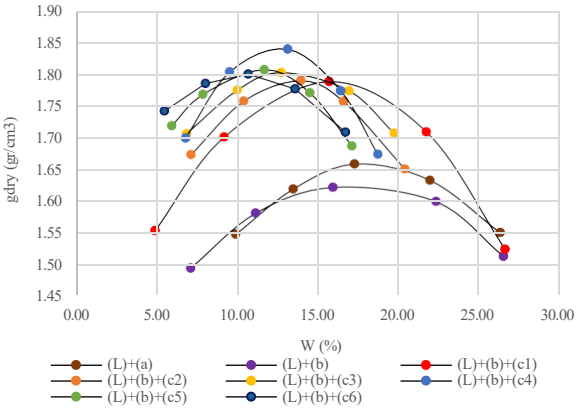


Gambar 2. Hubungan Nilai Berat Jenis Variasi Campuran Tanah Lunak, Pasir, Air Tawar (a), dan Air Laut (b)

Sampel (a) dengan nilai berat jenis lebih tinggi dibandingkan dengan sampel (b). Hubungan kuat ditunjukkan dengan nilai R2 = 0,9783 antara sampel air tawar (a) dan sampel air laut (b). Perbedaan berat jenis ini mungkin bisa disebabkan oleh kandungan garam dalam air laut yang mengalami penurunan masa akibat dari proses destilasi saat benda uji dalam piknometer dipanaskan. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ali dkk. (2019) dan Djoyowasito dkk. (2018), dimana penulis menemukan kesamaan dan merata-ratakan hasil kehilangan berat sebesar 23,02% setelah proses destilasi dilakukan oleh keduanya.

2. Hasil Uji Kompaksi Variasi Campuran

Bagian ini akan menampilkan Gambar 3 untuk memberikan gambaran dan analisis terhadap hasil uji pemadatan *modified* secara keseluruhan. Selain itu, Gambar 4 menyajikan hubungan kepadatan kering maksimum dengan kadar ar optimum pada setiap variasi campuran.

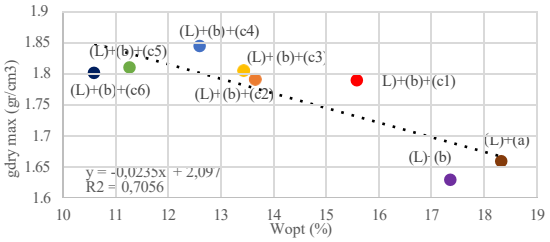


Gambar 3. Perbandingan Kurva Pemadatan Variasi Campuran

Dari Gambar 3 menunjukkan variasi campuran tanah lunak dengan pasir yang mampu meningkatkan nilai kepadatan. Tanah lunak yang dipadatkan dengan air tawar hasilnya lebih tinggi dari tanah lunak yang dipadatkan dengan air laut. Akan

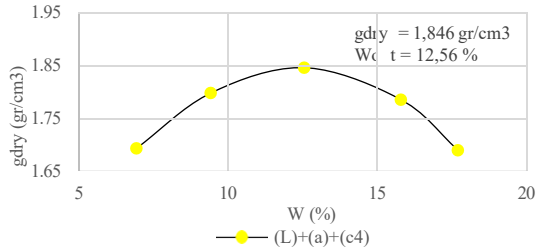
DOI: https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i1.51914

tetapi, tanah lunak yang dicampur pasir dan dipadatkan menggunakan air laut memberikan hasil yang lebih baik. Variasi tersebut menghasilkan kurva pemadatan terendah yaitu (L)+(b) dan kurva pemadatan tertinggi yaitu (L)+(b)+(c4).



Gambar 4. Hubungan Nilai γdry Max dengan *Wopt* Variasi Campuran Tanah Lunak, Pasir, Air Tawar, dan Air Laut

Terlihat pada Gambar 4, seiring meningkatnya kadar air optimum akan menghasilkan nilai kepadatan kering maksimum yang rendah. Sedangkan, penambahan pasir akan meningkatkan nilai kepadatan kering maksimum dan puncaknya ada pada variasi pencampuran (L)+(b)+(c4) (tanah lunak dengan 42% pasir yang dipadatkan dengan air laut) sebesar 1,845 gr/cm3 dengan kadar air optimum 12,59%.



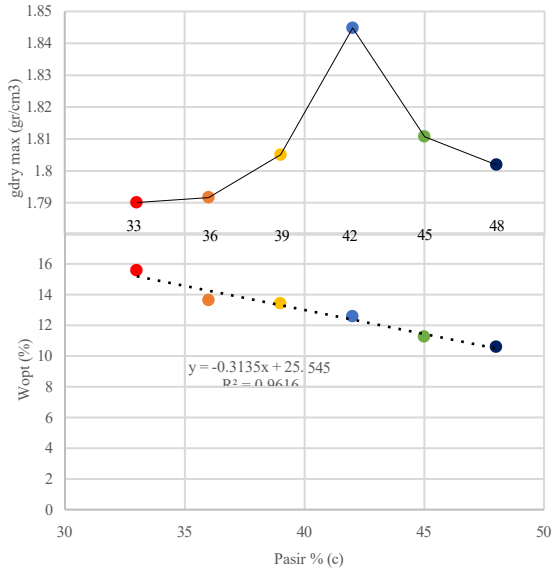
Gambar 5. Kurva Pemadatan Tanah Lunak Campuran Pasir 42% yang Dipadatkan dengan Air Tawar

Awalnya variasi pencampuran pasir hanya dipadatkan dengan air laut sehingga, diperlukan data pembanding untuk mengetahui hasil kepadatan kering maksimum tertinggi pada tanah lunak dengan variasi campuran pasir 42% yang dipadatkan dengan air tawar. Pada Gambar 5 disajikan kurva pemadatan pembanding terhadap kurva pemadatan Gambar 4. Hasilnya tetap konsisten, perubahan tidak signifikan terjadi pada nilai kepadatan kering maksimum tanah lunak pencampuran 42% pasir yang masing-masing dipadatkan dengan menggunakan air tawar dan air laut. Selisih antara (L)+(b)+(c4) dan (L)+(a)+(c4) sebesar 0,1%.

3. Hubungan Nilai Kepadatan Kering Maksimum (γdry) dan Kadar Air Optimum (*Wopt*) Air Laut terhadap Variasi Pencampuran Pasir

Jika sebelumnya sudah diperlihatkan hasil uji kompaksi yang menyajikann hasil dari hubungan antara kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum, maka pada bagian ini akan dibahas lebih detail hubungan antara keduanya dengan pasir. Disajikan pada Gambar 6 kurva yang menunjukkan hubungan antara persentase pasir, kepadatan kering maksimum, dan kadar air optimum (*Wopt*) dengan variasi pencampuran pasir. Kepadatan kering maksimum naik seiring dengan peningkatan persentase pasir, mencapai puncaknya pada 42% dengan nilai sebesar 1,845 g/cm³, kemudian setelahnya terjadi penurunan. Sehingga, pada campuran dengan 42% pasir, tanah mencapai kepadatan tertinggi, namun jika pasir terus ditambahkan, kepadatan justru berkurang karena struktur tanah tidak lagi mendukung pemadatan yang baik. Sementara itu, kadar air optimum (*Wopt*) terus menurun seiring dengan bertambahnya pasir, dengan persamaan $y=-0.3135x+25.545$ dan R^2 sebesar 0.9616, menunjukkan hubungan yang kuat. Pada 33% pasir, *Wopt* berada di angka 16%, sedangkan pada 48% turun menjadi 10%. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak pasir dalam campuran, semakin sedikit air yang dibutuhkan untuk pemadatan, karena pasir kurang menyerap air dibandingkan dengan tanah yang lebih halus. Dari beberapa nilai tersebut, bisa disimpulkan bahwa campuran optimal untuk mencapai kepadatan terbaik berada pada angka 42% pasir dengan kadar air sebesar 12%.

Menara: Jurnal Teknik Sipil, Vol 20 No 1 (2025)
DOI: https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i1.51914



Gambar 6. Kurva Hubungan Kepadatan Kering Maksimum dan Kadar Air Optimum (b) terhadap Variasi Pencampuran Pasir

4. Pembahasan Hasil Analisis Data

Dari data dan grafik yang telah disajikan, dapat dilihat bahwa penambahan pasir dalam tanah lunak secara konsisten mempengaruhi karakteristik pemadatan, baik dengan air tawar maupun air laut. Secara teori, penambahan pasir ke dalam tanah lempung atau tanah lanau meningkatkan fraksi butir kasar, yang dapat mengurangi plastisitas dan meningkatkan kepadatan maksimum. Hal ini sesuai dengan literatur yang dituliskan oleh Das (2010), bahwa penambahan butiran kasar (pasir) ke dalam tanah halus memperbaiki pemadatan karena pasir mengisi pori-pori dan meningkatkan kontak antar partikel tanah.

Dalam penelitian ini, campuran dengan air laut menunjukkan sedikit penurunan berat jenis dibandingkan air tawar, yang mungkin disebabkan oleh kandungan garam dalam air laut yang mengubah sifat kimia tanah, terutama jika tanah lunak yang bersifat reaktif terhadap garam. Hal ini sejalan dengan yang dituliskan oleh Min dkk. (2015) bahwa tanah berbutir halus terhidrasi karena adanya adsorpsi molekul air dari larutan elektrolit, yang berkontribusi pada ketidakstabilan dispersi partikel tanah.

Namun, penambahan variasi campuran 42% pasir menunjukkan hasil kepadatan maksimum yang tertinggi baik untuk air tawar maupun air laut, meskipun perbedaannya tidak signifikan. Ini bisa diartikan bahwa campuran pasir dalam kisaran 40-45% memberikan rasio optimal antara butir kasar dan tanah halus yang dapat menciptakan *interlocking* yang efektif, memperbaiki struktur internal tanah sehingga menjadi lebih kuat dan padat.

Dalam konteks pemadatan tanah pengujian kompaksi dilakukan untuk mencari kadar air optimum (*Wopt*) (Saputra dkk., 2024). Pemadatan tanah merupakan salah satu indikator daya dukung tanah, Mardianti dkk. (2022) menekankan pentingnya analisis daya dukung dalam menerima beban di atasnya. Hasil ini sesuai dengan prinsip-prinsip dasar pemadatan yang menunjukkan bahwa campuran yang memiliki distribusi ukuran partikel yang baik akan menghasilkan kepadatan yang lebih tinggi. Penurunan *Wopt* terjadi karena penambahan pasir membutuhkan lebih sedikit air untuk mencapai kondisi pemadatan maksimum.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, penambahan pasir ke dalam tanah lunak secara signifikan meningkatkan nilai kepadatan kering maksimum. Campuran tanah dengan 42% pasir menunjukkan peningkatan kepadatan tertinggi, dengan nilai kepadatan 1,845 gr/cm³ untuk air laut dan 1,846 gr/cm³ untuk air tawar, menunjukkan hasil yang hampir setara. Penurunan kadar air optimum (*Wopt*) dengan penambahan pasir menunjukkan bahwa semakin banyak pasir dalam campuran, semakin sedikit air yang dibutuhkan untuk mencapai pemadatan optimal. Selain itu, koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9616 mengindikasikan hubungan yang sangat kuat antara variasi campuran pasir, penurunan kadar air optimum, dan peningkatan nilai kepadatan kering maksimum. Hal ini menegaskan

DOI: https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i1.51914

bahwa variasi campuran pasir yang tepat dapat meningkatkan stabilitas tanah lunak melalui peningkatan nilai kepadatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada anggota Tim Peneliti Arif Febrian Syah dan Fransisko R.A Tukan yang telah mendedikasikan waktu, tenaga, dan pikirannya. Juga kepada Pengelola Laboratorium Teknik Sipil Unamin atas dukungan fasilitas dan masukan selama berlangsungnya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, M., Lazim, M., Muin, A., dan Badil, I. (2019). Penyulingan Air Laut Menjadi Air Tawar. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, *7*(2), 138–142.

Alnmr, A. dan Ray, R. (2024). Investigating the Impact of Varying Sand Content on the Physical Characteristics of Expansive Clay Soils from Syria. *Geotechnical and Geological Engineering*, *42*(4), 2675–2691.

Amania, Sarie, F., dan Okrobianus. (2021). The Effect of Adding Sircon Sand, Wood Ash and Fly Ash in Clay to the Structure and Shearing Strength of Soil. *Proteksi*, *3*(2), 63–70.

Bilgen, G. dan Kavak A. (2010). Effects of Seawater on Geotechnical Properties of a Clay Soil. *Fresenius Environmental Bulletin,* 19(8a), 1623-1628.

Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering*. Stamford: Cengage Learning.

Djoyowasito, G., Ahmad, A. M., Lutfi, M., dan Anggra, A. (2018). Rancang Bangun Model Penghasil Air Tawar dan Garam dari Air Laut Berbasis Efek Rumah Kaca Tipe Penutup Limas. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, *6*(2), 107–119.

Dwipayana, I. K. A., Arya, I. W., dan Sujahtra, I. W. (2023). Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Kadar Air Optimum dan Kepadatan Tanah Lempung. *Politeknik Negeri Bali.*

Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

López, L. C. V. dan Castaño, V. (2001). Time Dependency Of Cao-Treated Expansive Soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 7.

Mardianti, I. Y., Nuklirullah, M., dan Dwina, D. O. (2022). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Jambi). *Menara : Jurnal Teknik Sipil*, 17(2), 51-60.

Min, F., Peng, C., dan Liu, L. (2015). Investigation on Hydration Layers of Fine Clay Mineral Particles in Different Electrolyte Aqueous Solutions. *Powder Technology*, *283*, 368–372.

Otoko, G. R. (2014). The Effect of Salt Water on the Physical Properties, Compaction Characteristics and Unconfined Compressive Strength of a Clay, Clayey Sand and Base Course. *European International Journal of Science and Technology*, 3(2), 9-16.

Pristianto, H. dan Butudoka, M. A. (2023). Konsep Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dalam Mengantisipasi Bencana dan Krisis Air di Ibu Kota Provinsi Papua Barat Daya. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, *23*(2), 290–307.

Ramadhan, A. R., Muttaqin, A. S., Marpaung, B. L., Puspitaningtyas, I. H., Mandosir, I. S., Makanuai, M. S. C., Pratiwi, M. W., Hanifuddin, M., Prehadi, Bala'zam, R. M., dan

DOI: https://doi.org/10.21009/jmenara.v20i1.51914

Herettrenggi, R. (2020). *Buku Refleksi LPSPL Sorong 2009-2019*. Sorong: LPSPL Sorong

Reno, A., Sarie, F., dan Gandi, S. (2020). Pengaruh Penambahan Pasir Pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Daya Dukung dan Kuat Tekan Bebas. *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, *4*(1), 63–72.

Rückrich, S., Agranati, G., dan Grobman, Y. J. (2024). Evaluating Clay Characteristics for Printable Geo-Materials: A Case Study of Clay–Sand Mixes. *Buildings*, *14*(6), 1576.

Rusdi, A., Nurbia, Pristianto, H., Butudoka, M. A., Pamudjianto, A., dan Desembardi, F. (2023). Laju Sedimen Dasar Pada Sungai Klagison Menggunakan Program HEC-RAS. *Jurnal Konstruksia*, *15*(1), 47-57.

Saputra, A., Rokhman, Iqbal, Suherman, A., dan Rusmin. (2024). Pengaruh Penambahan Serat Serabut Kelapa Terhadap Stabilitas Tanah Lempung Ditinjau dari Kuat Geser Tanah. *Jurnal Konstruksia*, *15*(2), 85–91.