

PENGARUH PEMERAMAN TANAH TERHADAP CBR TANAH YANG DISTABILISASI DENGAN ABU ARANG BIJI HANJELI

Ermitha Ambun Rombe Dendo^{1,*}, Henrianto Masiku², Bastian Artanto Ampangallo³, Zwengly Lody Honta Lambe⁴, Yulieanti S. Mapaliey⁵, Escher Kaalapadang⁶, Gersony Miri⁷, Feri Daud Biang⁸, Agustina Pagatiku⁹, Marinus Linggi K. Lino¹⁰, Jufriady Palangan¹¹

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Nusantara No.12 Makale, Kabupaten Tana Toraja, Indonesia

¹ambun.rombe@gmail.com ; ²henriantomasiku@ukitoraja.ac.id ; ³bastianartanto@vmail.com ; ⁴zwenglylody@gmail.com ; ⁵palangan90@gmail.com

*corresponding author : ambun.rombe@gmail.com

ABSTRAK

Kata Kunci:

Abu
Biji Hanjeli
CBR
Kepadatan
Pemeraman
Stabilisasi Tanah

Peningkatan daya dukung tanah lunak perlu dilakukan sebelum konstruksi dibangun di atasnya sehingga konstruksi memiliki umur layanan yang lebih lama. Upaya yang dapat dilakukan yaitu stabilisasi tanah. Stabilisasi merupakan upaya perbaikan tanah dengan memanfaatkan dan menggabungkan zat-zat kimia pada tanah dan material yang bersifat sebagai puzzolan yang bersifat merekatkan seperti semen. Bahan alami yang dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah yaitu abu biji hanjeli karena mengandung silika 10,53% dan kulit biji hanjeli mengandung silika 16%. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental laboratorium. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil UKI Toraja. Sampel tanah diambil dari Pamibak Utara, Lembang Sikuku¹, Kecamatan Kapalapitu dan biji hanjeli diambil dari Lembang Pangala², Kecamatan Rindingallo, Kabupaten Toraja Utara. Biji hanjeli dibakar pada suhu 600 °C hingga kemudian dihaluskan dan disaring menggunakan saringan no. 200 untuk memperoleh abu. Pengujian yang dilakukan yaitu uji CBR tanah dengan variasi pemeraman benda uji berumur 14 hari dan 28 hari dengan variasi abu biji hanjeli 5%, 10% dan 15% dari berat tanah kering

Berdasarkan analisis hasil pengujian tanah lempung tanpa abu biji hanjeli diperoleh nilai berat jenis 2,60. Berdasarkan analisa butiran lolos saringan no 200 sebanyak 90,98%. Tanah memiliki batas cair 46,11%, batas plastis 33,77% dan indeks plastisitas 12,34%. Pada pengujian sifat fisik tanah lempung abu biji diperoleh nilai berat isi kering kompaksi 1,46 gr/cm³, kadar air optimum kompaksi 26%, dan hasil pengujian CBR diperoleh nilai 3,13%. Tanah dengan variasi abu biji hanjeli 5%, 10% dan 15% diperoleh nilai CBR untuk pemeraman 7 sebesar 6,34% 10,3% dan 14,07. Sedangkan untuk pemeraman 28 hari diperoleh nilai CBR berturut-turut 8,14%, 11,8%, dan 16,3 %. Kenaikan nilai CBR tanah disebabkan oleh semakin meningkatnya kepadatan tanah karena semakin banyak material halus yang berupa abu mengisi rongga antara butiran tanah sehingga tanah menjadi lebih padat, solid tanah dan relatif kaku sehingga mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap beban. Saat diberikan tanah mampu untuk memikul beban tersebut sehingga dapat diperoleh nilai CBR yang tinggi. Daya dukung tanah setelah dilakukan stabilisasi menggunakan abu biji hanjeli menghasilkan nilai CBR lebih tinggi dengan kategori baik dan dapat digunakan sebagai lapisan subgrade atau lapis tanah dasar untuk perkerasan jalan

Keywords:

Ash
CBR
Curing
Density
Hanjeli Seeds
Soil Stabilization

ABSTRACT

Increasing the bearing capacity of soft soil needs to be done before construction is built on it so that the construction to be built has a longer service life. One effort that can be done is soil stabilization. Stabilization is an effort to improve the soil by utilizing and combining chemical substances in the soil as well as materials that act as puzzolans. Pozzolan contains silica and alumina compounds, and when added to water it will react chemically to form calcium hydrate compounds which have a cement-like bonding effect. Natural materials that can be considered for use as soil stabilization materials are hanjeli seed ash because it contains 10.53% silica, and hanjeli seed shells contain 16% silica. The method used in this research is laboratory experimental. Sample testing was carried out at the UKI Toraja Civil Engineering Laboratory. Soil samples were taken from North Pamibak, Lembang Sikuku', Kapalapitu District, and North Toraja Regency. Hanjeli seeds were taken from Lembang Pangala', Rindingallo District, North Toraja Regency. Hanjeli seeds are roasted at 600 oC until smooth and filtered using sieve no. 200 to get hanjeli seed charcoal ash. The tests carried out were soil CBR tests with variations in preserving test objects aged 14 days and 28 days and variations in Hanjeli seed ash of 5%, 10% and 15% of the dry weight of the soil.

Based on the analysis of results test for clay soil without Hanjeli seed ash, a specific gravity value of 2.60 was obtained. The results of the grain distribution test showed that 90.98% of the grains passed sieve number 200. The soil had a liquid limit of 46.11%, a plastic limit of 33.77%, and a plasticity index of 12.34%. In testing the physical properties of seed ash clay, the dry compaction unit weight value was 1.46 gr/cm³, the optimum compaction water content was 26%, and the CBR test results obtained a value of 3.13%. Soil with variations in Hanjeli seed ash of 5%, 10%, and 15% obtained curing CBR 7 values of 6.34%, 10.3%, and 14.07. Meanwhile, during the 28-day curing period, the CBR values were 8.14%, 11.8%, and 16.3%, respectively. The increase in the CBR value of the soil is caused by the increasing density of the soil because more and more fine material in the form of ash fills the cavities between soil grains, so that the soil becomes denser and relatively stiff, so it has higher resistance to loads. If provided, the soil is able to carry the load so that a high CBR value can be obtained. The bearing capacity of the soil after stabilization using Hanjeli seed ash produces a higher CBR value in the good category and can be used as a base layer or base layer for road pavement.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

**I. Pendahuluan**

Pembangunan infrastruktur terus dilakukan di semua wilayah. Pembangunan infrastruktur memerlukan lahan yang cukup luas dan akan terus berlangsung. Hal ini menyebabkan lahan yang ada akan berkurang. Upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut salah satunya melalui pembangunan infrastruktur diatas tanah hasil reklamasi pantai atau diatas tanah lunak [1], [2]. Berdasarkan data penyebaran tanah lunak di wilayah Indonesia, diperkirakan sekitar 20 juta hektar atau sekitar 10 persen dari luas total daratan Indonesia [3]. Tanah lunak dapat dibagi dalam dua tipe yaitu tanah lempung lunak dan tanah gambut.

Tanah lempung lunak mengandung mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah, sedangkan tanah gambut pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan [4]. Tanah lempung lunak mengandung mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah, sedangkan tanah gambut pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan [4]. Sifat-sifat tanah lunak, antara lain konsistensi lunak-sangat lunak, kadar air tinggi, gaya geser kecil, kemampatan besar, daya dukung rendah dan tingkat penurunan tinggi. Tanah lunak dapat terkonsolidasi normal atau *over* konsolidasi (*lightly over consolidated*) dengan nilai CBR kurang dari 2,5% dan kekuatan geser (q_c) lebih kecil dari 50 kPa, dan umumnya $IP > 25$ [5]–[7].

Masalah utama pembangunan konstruksi di tanah lunak adalah terbatasnya daya dukung dan penurunan tanah yang besar dan cenderung tidak, penyerapan air yang signifikan serta impermeabilitas [8] Sifat tanah seperti itu sering menyebabkan kegagalan konstruksi, tingginya biaya konstruksi dan pemeliharaan [9]. Perbaikan tanah dengan cara meningkatkan daya dukung harus dilakukan sebelum konstruksi dibangun diatasnya yaitu dengan stabilisasi tanah. Tujuan stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kemampuan

tanah dalam menopang beban guna memenuhi persyaratan teknis bangunan yang dibangun di atas tanah lunak. Teknik stabilisasi yang paling praktis dan efisien yaitu perbaikan tanah dengan memanfaatkan dan menggabungkan zat-zat kimia pada tanah dan material yang bersifat sebagai puzzolan.

Puzzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina dan bila diberi air akan bereaksi secara kimiawi membentuk senyawa kalsium hidrat yang bersifat merekatkan seperti semen [10]. Pozzolan ada yang bersifat alami dan buatan. Pozzolan alami berasal dari sedimentasi dari abu lava gunung berapi yang mengandung silika aktif. Pozzolan buatan berasal dari sisa pembakaran tungku maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu melalui proses pembakaran [11]. Dalam upaya mengurangi bahan kimia dan menjaga kelestarian lingkungan pemanfaatan puzzolan alam dapat dilakukan. Puzzolan alam dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah, misalnya abu arang hasil pembakaran.

Salah satu bahan alami yang dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah yaitu abu biji hanjeli. Bahan abu biji hanjeli banyak terdapat di daerah Pamibak Utara, Lembang Sikuku, Toraja Utara. Biji hanjeli mengandung silika sebesar 10,53% dan kulit biji hanjeli mengandung silika sebesar 16% (Nurmala et al., 2016). Tujuan dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan Abu Biji Hanjeli terhadap nilai California Bearing Ratio (CBR) tanah lempung dengan variasi pemeraman 14 dan 28 hari.

II. Metode

Penelitian ini bersifat eksperimental di laboratorium. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja. Sampel tanah diambil dari Pamibak Utara, Lembang Sikuku, Kecamatan Kapalapitu, Kabupaten Toraja Utara. Biji hanjeli diambil dari Lembang Pangala, Kecamatan Rindingallo, Kabupaten Toraja Utara. Biji hanjeli dibakar pada suhu 600 °C hingga menjadi arang dengan tujuan untuk menghasilkan kadar silika yang lebih tinggi. Setelah menjadi arang, kemudian dihaluskan dan disaring menggunakan saringan no. 200 untuk memperoleh abu arang biji hanjeli.

Pengujian yang dilakukan yaitu uji CBR tanah dengan variasi pemeraman benda uji berumur 14 hari dan 28 hari dengan variasi abu biji hanjeli 5%, 10% dan 15% dari berat tanah kering. Jumlah sampel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Menentukan Jumlah Sampel Benda Uji

No.	Variasi Abu Biji Hanjeli	Umur Sampel (Hari)	Jumlah Sampel
1	0 %	7	3
		14	3
2	5 %	7	3
		14	3
3	10 %	7	3
		14	3
4	15 %	7	3
		14	3
Jumlah			24

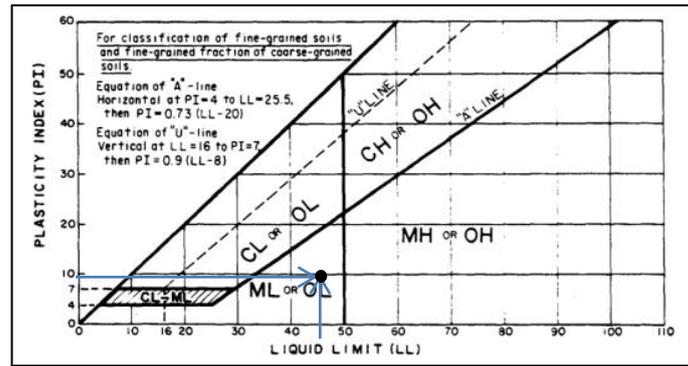
III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah Tanpa Campuran Abu Biji Hanjeli

Hasil pemeriksaan karakteristik fisik dan mekanis tanah diperlihatkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Sifat Karakteristik Tanah Tanpa Campuran Abu Biji Hanjeli

Jenis Pengujian	SNI	Satuan	Nilai	
Berat Jenis	SNI 03-1964-1990	-	2,60	
Batas-batas Atterberg	Batas Cair (LL)	SNI 03-1967-1990	%	46,11
	Batas Plastis (PL)	SNI 03-1966-1990	%	33,77
	Index Plastis (PI)	SNI 03-1966-2008	%	12,34
	Batas Susut (SL)		%	29,25
Pemadatan Tanah (Kompaksi)	Kadar Air Optimum (W_{opt})	SNI 03-1742-1989	%	26,00
	Berat Isi Kering (γ_{dry})		gr/cm ³	1,46
CBR	SNI 03-6796-2002	%	3,13	



Gambar 1. Hubungan Plastis Indeks dan Liquid Limit Tanah Tanpa Campuran Abu Biji Hanjeli

Pengujian analisa butiran dilakukan melalui pengujian analisa saringan menggunakan saringan no.4, 10, 18, 40, 60, 100, 200, dan pan, dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Sifat Karakteristik Tanah Dengan Campuran Abu Biji Hanjeli

Jenis Pengujian		SNI	Satuan	Nilai
Berat Jenis	-	03-1964-1990	-	2,64
Batas-batas Atterberg	Batas Cair (LL)	03-1967-1990	%	51,33
	Batas Plastis (PL)	03-1966-1990	%	39,55
	Index Plastis (PI)	03-1966-2008	%	11,78
	Batas Susut (SL)	03-3422-1994	%	27,37
Pemadatan Tanah	Kadar Air Optimum (W_{opt})	03-1970-2008	%	27,50
	Berat Isi Kering (V_{dry})		gr/cm ³	1,40
CBR	Pemeraman Tanah 14 Hari	03-6796-2002	%	3,13
	Pemeraman Tanah 28 Hari			

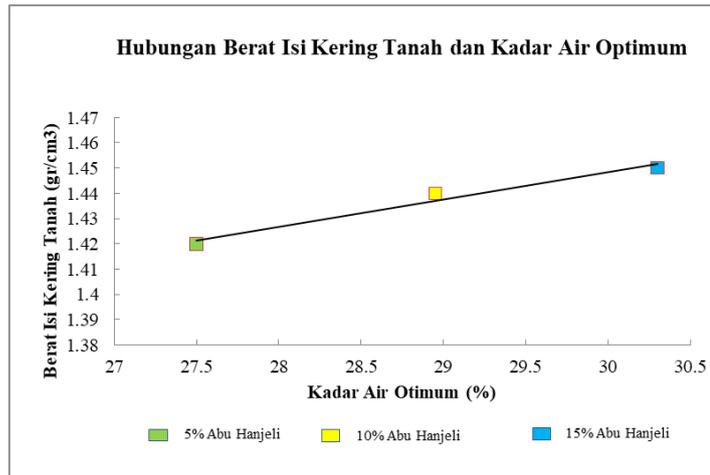
Pada Tabel 1 diperoleh hasil pengujian berat jenis sebesar 2,60 sehingga penggolongan tanah berdasarkan berat jenis maka tanah termasuk dalam jenis lempung organic [12]. Pada Tabel 2 terlihat hasil pengujian batas-batas Atterberg yaitu, batas cair 46,11%, batas plastis 33,77%, batas susut 29,25%, dan index plastis 12,34%. Pada tabel 2 diketahui tanah lolos saringan no. 200 sebesar 90,98 %. Dengan menggunakan klasifikasi AASHTO maka tanah dapat digolongkan sebagai tanah lempung organic (OL) dengan plastisitas sedang.

B. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah Dengan Campuran Abu Biji Hanjeli

Hasil pemeriksaan karakteristik fisik dan mekanis tanah dengan variasi bahan tambah abu biji hanjeli 5%, 10% dan 15% diperlihatkan dalam Tabel 2

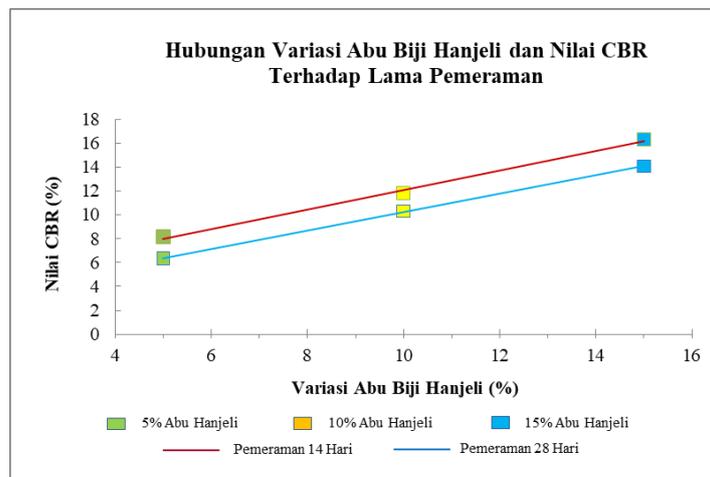
Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Sifat Karakteristik Tanah Dengan Campuran Abu Biji Hanjeli

Jenis Pengujian		SNI	Variasi Abu Biji		
			5%	10%	15%
Berat Jenis		03-1964-1990	2,64	2,70	2,74
Batas Cair (LL)		03-1967-1990	51,33	56,32	59,21
Batas Plastis (PL)		03-1966-1990	39,55	45,88	50,44
Indeks Plastis (PI)		03-1966-2008	11,78	10,44	8,77
Batas Susut (SL)		03-3422-1994	27,37	26,06	24,62
Pemadatan Tanah (Kompaksi)	Kadar Air Optimum (W_{opt})	03-1970-2008	27,50	28,95	30,30
	Berat Isi Kering (V_{dry})		1,42	1,44	1,45
CBR	Pemeraman Tanah 14 Hari	03-6796-2002	6,34	10,3	14,07
	Pemeraman Tanah 28 Hari		8,14	11,8	16,3



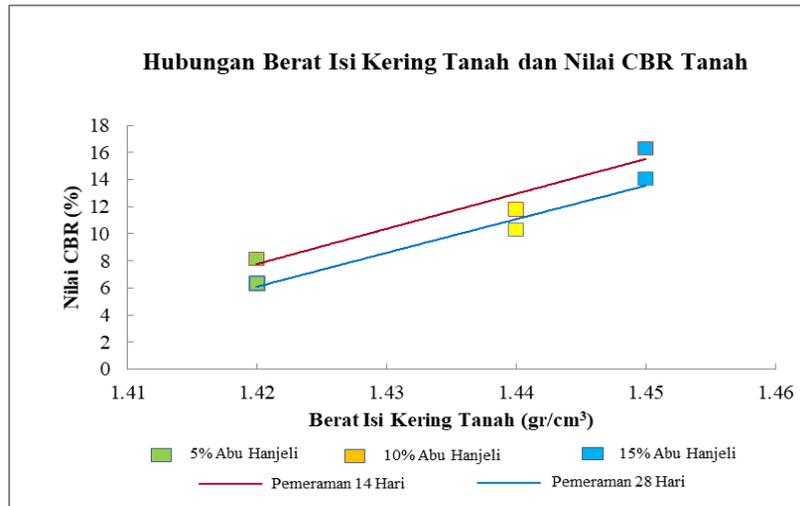
Gambar 2. Hubungan Kadar Air Optimum Tanah Pada Berbagai Variasi Abu Biji Hanjeli Terhadap Berat Isi Kering Tanah

Pada Gambar 2 dapat dilihat hasil pengujian kompaksi diperoleh kadar air optimum yang mengalami kenaikan dari kadar air optimum tanah tanpa bahan stabilisasi abu biji hanjeli hingga tanah dengan penambahan abu biji hanjeli dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%. Pada Gambar 2 terlihat adanya kenaikan kadar air optimum tanah seiring dengan bertambahnya jumlah abu biji hanjeli yang digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah. Hal ini terjadi karena efek pelumasan air. Semakin banyak bahan halus yang digunakan membutuhkan air yang lebih banyak untuk membawa material halus berupa abu biji hanjeli mengisi rongga antara butiran tanah sehingga tanah menjadi lebih padat dan solid dan berat isi kering meningkat. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menggunakan abu organik sebagai bahan stabilisasi tanah.



Gambar 3. Hubungan Nilai CBR dan Variasi Abu Biji Hanjeli Terhadap Lama Pemeraman

Pada Tabel 2 dan juga terlihat adanya kenaikan nilai daya dukung tanah seiring bertambahnya jumlah abu biji hanjeli dan lama pemeraman. Pada Grafik dilihat hasil pengujian CBR yang mengalami kenaikan dari CBR tanah tanpa bahan tambah hingga pemeraman 14 hari dan 28 hari dengan variasi abu biji hanjeli 5%,10%, dan 15%. Hasil pengujian CBR mengalami kenaikan pada setiap variasi pemeraman dan setiap penambahan abu biji hanjeli.

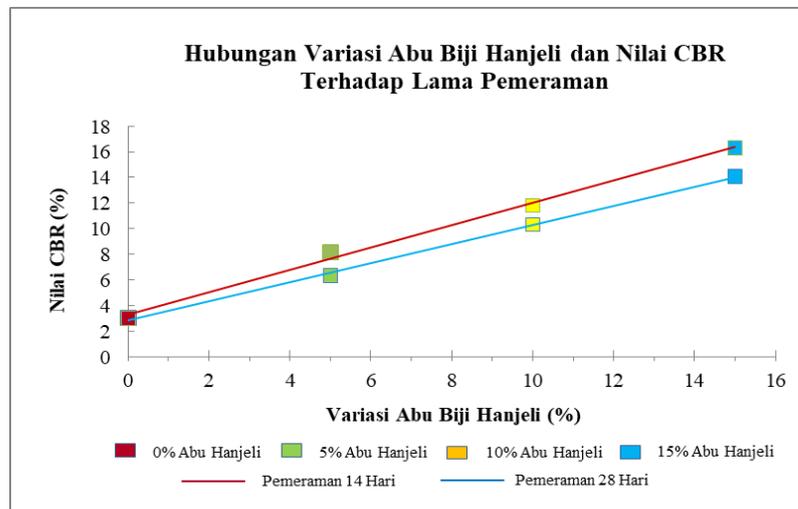


Gambar 5. Grafik Hubungan Berat Isi Kering Tanah dan Nilai CBR Tanah

Hasil pengujian CBR didapatkan hasil paling tinggi yaitu pada pemeraman 28 hari dengan variasi 15% abu biji hanjeli diperoleh nilai CBR 16,3%.

Tabel 4. Komparasi Hasil Pengujian CBR Tanah

Jenis Pengujian		SNI	Variasi Abu Biji Hanjeli			
			0%	5%	10%	15%
CBR	Pemeraman Tanah 14 Hari	03-6796-2002	3,13	6,34	10,3	14,07
	Pemeraman Tanah 28 Hari			8,14	11,8	16,3



Gambar 6. Grafik Hubungan Berat Isi Kering Tanah dan Nilai CBR Tanah

Pada Tabel 4 dan Gambar 6, terlihat kenaikan nilai CBR tanah pada tanah yang stabilisasi abu biji hanjeli jika dibandingkan dengan tanah yang tidak distabilisasi dengan abu biji hanjeli. Kenaikan nilai CBR tanah disebabkan oleh semakin meningkatnya kepadatan tanah yang diakibatkan semakin banyak bahan halus yang berupa abu biji hanjeli mengisi rongga antara butiran tanah sehingga tanah menjadi lebih padat dan solid tanah. Kondisi ini menjadikan tanah relatif kaku dan mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap beban. Pada kondisi kepadatan tanah yang tinggi, saat diberikan tanah mampu untuk memikul beban tersebut sehingga dapat diperoleh nilai CBR yang tinggi seperti terlihat pada Gambar 6. Hasil pengujian CBR mengalami kenaikan pada setiap variasi pemeraman dan penambahan abu biji hanjeli.

Hasil pengujian CBR didapatkan hasil paling tinggi yaitu pada pemeraman 28 hari dengan penggunaan abu biji hanjeli sebagai bahan stabilisasi sebesar 15% diperoleh nilai CBR 3%. Berdasarkan SNI SNI-108-1990-03 mengenai daya dukung tanah maka setelah melakukan stabilisasi tanah menggunakan abu biji

hanjeli dapat dikatakan menghasilkan nilai CBR dengan kategori baik dan dapat digunakan sebagai lapisan subgrade atau lapis tanah dasar untuk perkerasan jalan.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat di simpulkan bahwa hasil penelitian dengan penambahan abu biji hanjeli sebagai bahan stabilisasi tanah diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- A. Tanah lempung tanpa abu biji hanjeli sebagai bahan stabilisasi memiliki nilai berat jenis sebesar 2,60. Berdasarkan analisa butiran lolos saringan no 200 sebanyak 90,98%. Tanah memiliki batas cair 46,11%, batas plastis 33,77%, indeks plastis 12,34%, dan batas susut 29,25%. Pada pengujian sifat fisik tanah lempung abu biji diperoleh nilai berat isi kering kompaksi 1,46 gr/3, kadar air optimum kompaksi 26%, dan hasil pengujian CBR diperoleh nilai 3,13%. Dari nilai CBR yang didapatkan belum memenuhi syarat sebagai lapisan dasar karena masuk dalam hasil CBR yang buruk berdasarkan SNI-108-1990-03
- B. Pada variasi abu biji hanjeli 5%, 10% dan 15% diperoleh nilai CBR untuk pemeraman 7 sebesar 6,34% 10,3% dan 14,07. Sedangkan untuk pemeraman 28 hari diperoleh nilai CBR berturut-turut 8,14%, 11,8%, dan 16,3 %. Kenaikan nilai CBR tanah disebabkan oleh semakin meningkatnya kepadatan tanah yang diakibatkan semakin banyak bahan halus yang berupa abu biji hanjeli mengisi rongga antara butiran tanah sehingga tanah menjadi lebih padat dan solid tanah. Kondisi ini menjadikan tanah relatif kaku dan mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap beban. Pada kondisi kepadatan tanah yang tinggi, saat diberikan tanah mampu untuk memikul beban tersebut sehingga dapat diperoleh nilai CBR yang tinggi. Berdasarkan SNI SNI-108-1990-03 mengenai daya dukung tanah maka setelah melakukan stabilisasi tanah menggunakan abu biji hanjeli dapat dikatakan menghasilkan nilai CBR dengan kategori baik dan dapat digunakan sebagai lapisan subgrade atau lapis tanah dasar untuk perkerasan jalan.

Daftar Pustaka

- [1] A. R. Djamaluddin, A. Arsyad, M. I. Maricar, I. Oemar, L. Samang, and M. I. Burhan, "Experimental study of pullout capacity of stard plate anchor," *Proc. 7th Int. Conf. Asian Pacific Coasts, APAC 2013*, no. Apac, pp. 1068–1072, 2020.
- [2] T. Harianto, L. Samang, A. Zubair, and A. Theodorus, "Efektifitas Pondasi Raft dan Pile Dalam Mereduksi Penurunan," *Pros. KoNTekS*, vol. II, no. KoNTekS 4, 2010.
- [3] B. G. Kementerian ESDM, *Atlas Sebaran Tanah Lunak*. JAKARTA: Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019.
- [4] Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, "Panduan Geoteknik 1 (Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak)," in *Panduan Geoteknik Indonesia Timbunan Jalan pada Tanah Lunak*, Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002.
- [5] D. J. B. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Manual Perkerasan Jalan," Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina, Jakarta, 2017.
- [6] A. B. Muhiddin, T. Harianto, and A. R. Djamaluddin, "Studi Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Timbunan Sebagai Lapisan Tanah Pondasi," *Pros. Snast*, pp. 36–43, 2021.
- [7] K. Terzaghi, R. B. Peck, and G. Mesri, "Soil Mechanics in Engineering Practice," *John wiley & sons*. New York, p. 534, 1996.
- [8] B. M. Das, *Mekanika Tanah 1 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 2. 1995.
- [9] J. Gultom, Pratikso, and A. Rochim, "Floating road construction on soft soil," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 955, no. 1, pp. 1–8, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/955/1/012016.
- [10] R. Walker and S. Pavía, "Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime-pozzolan pastes," *Mater. Struct. Constr.*, vol. 44, no. 6, pp. 1139–1150, 2011, doi: 10.1617/s11527-010-9689-2.
- [11] J. A. Becerra-duitama and D. Rojas-avellaneda, "Pozzolans : A review Engineering and Applied Science Research Pozzolans : A review," *Eng. Appl. Sci. Res.*, vol. 49, no. 4, pp. 495-504 Engineering, 2022, doi: 10.14456/easr.2022.
- [12] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 1*, Tujuh. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1993.

- [13] Sri Gusty, Parea Rusan Rangan, dkk., Teknik Sipil (Sebuah Pengantar), Tohar Media, 2022.
- [14] Parea Rusan Rangan, M.Tumpu, 2021. Effect Calcium Hydroxide (traditionally called slaked lime) to Stabilization of Laterite Soil, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, <https://iopscience>.
- [15] Parea Rusan Rangan, Abdias T., 2020. Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Limbah Keramik (Studi Kasus: Tanah di Tanete, Lembang Limbong, Kecamatan Rembon, Kabupaten Tana Toraja), Journal Dynamic Saint, Edisi 5 nomor 2.
- [16] Parea Rusan Rangan, Miswar T., 2022. Konsep Dasar Geopolimer : Bahan Pengikat yang Ramah Lingkungan, Penerbit Tohar Media, Makassar