

Pengaruh Waktu Pemeraman terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Bengawan Madiun yang Distabilisasi Menggunakan Abu Cangkang Sawit

Firmansyah Al Bani^{1*}, Sahrul Zamroni²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Lamongan, Indonesia

*Penulis korespondensi, email: albanif55@gmail.com

Abstrak

Tanah lempung memiliki daya dukung rendah dan sifat plastisitas tinggi sehingga kurang baik digunakan sebagai tanah dasar konstruksi. Salah satu metode perbaikan tanah yang dapat dilakukan adalah stabilisasi menggunakan abu cangkang sawit. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh waktu pemeraman terhadap kuat tekan bebas tanah lempung Bengawan Madiun yang distabilisasi menggunakan abu cangkang sawit. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium dengan variasi kadar abu cangkang sawit sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%, serta variasi waktu pemeraman 0, 1, 4, 7, dan 14 hari. Pengujian meliputi sifat fisis tanah, pemadatan standar Proctor, dan Unconfined Compression Test (UCT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang sawit mampu menurunkan indeks plastisitas serta meningkatkan nilai kuat tekan bebas tanah. Nilai kuat tekan optimum diperoleh pada penambahan abu cangkang sawit 12% dengan waktu pemeraman 14 hari sebesar 1,231 kg/cm². Namun, pada kadar 15% terjadi penurunan kuat tekan setelah pemeraman lebih dari 4 hari. Penelitian ini menyimpulkan bahwa abu cangkang sawit efektif digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung. Pemanfaatan limbah abu cangkang sawit juga berimplikasi pada peningkatan kualitas tanah dasar serta mendukung konsep konstruksi ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata kunci: tanah lempung, abu cangkang sawit, pemeraman, kuat tekan bebas.

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

1. Pendahuluan

Tanah lempung merupakan jenis tanah berbutir halus yang memiliki sifat kohesif, plastisitas tinggi, permeabilitas rendah, serta sangat dipengaruhi oleh perubahan kadar air [1], [2]. Tanah lempung umumnya memiliki daya dukung rendah sehingga kurang baik digunakan sebagai tanah dasar konstruksi jalan maupun pondasi bangunan tanpa dilakukan perbaikan terlebih dahulu [3], [4]. Menurut Wesley, tanah lempung dengan kandungan mineral aktif yang tinggi dapat mengalami pengembangan dan penyusutan yang menyebabkan retak, penurunan tanah, dan kerusakan konstruksi [5]. Terzaghi dan Peck juga menjelaskan bahwa tanah lempung memiliki karakteristik konsolidasi lambat dan kuat geser rendah sehingga memerlukan penanganan khusus dalam rekayasa geoteknik [6].

Kondisi tanah lempung lunak banyak dijumpai pada kawasan bantaran sungai, termasuk daerah Bengawan Madiun yang didominasi tanah berplastisitas tinggi dan sensitif terhadap perubahan kadar air. Berdasarkan sistem klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS), tanah lempung dengan plastisitas tinggi termasuk kelompok CH yang memiliki potensi pengembangan besar dan stabilitas

rendah [7]. Permasalahan tersebut dapat menurunkan kualitas infrastruktur apabila tanah digunakan langsung sebagai tanah dasar konstruksi. Infrastruktur yang baik memiliki peranan penting dalam mendukung mobilitas, pertumbuhan ekonomi, dan konektivitas wilayah sehingga peningkatan kualitas tanah dasar menjadi hal yang sangat penting dalam pembangunan [8], [9].

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk memperbaiki karakteristik tanah lempung adalah stabilisasi tanah. Stabilisasi bertujuan meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi plastisitas, memperkecil perubahan volume, dan meningkatkan daya dukung tanah [10], [11]. Menurut Sutarman, stabilisasi tanah dapat dilakukan menggunakan bahan kimia, semen, kapur, maupun limbah industri dan limbah pertanian yang mengandung unsur pozzolan [12]. Penggunaan bahan limbah sebagai stabilisator menjadi alternatif yang menarik karena dapat meningkatkan kualitas tanah sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan.

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan material abu dapat memperbaiki sifat mekanis tanah lempung. Amelia menyatakan bahwa penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi mampu meningkatkan nilai CBR tanah lempung dan tanah pasir [13]. Nur dan Joesi menunjukkan bahwa abu limbah gergaji kayu dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas tanah lempung [14]. Penelitian Pristiano et al. juga menyimpulkan bahwa campuran abu kayu mampu meningkatkan daya dukung tanah lempung secara signifikan [15]. Ariska dan Lestarini menyatakan bahwa penggunaan bubuk arang kayu dan cat tembok dapat meningkatkan stabilitas tanah lempung [16]. Bilal dan Endah menemukan bahwa campuran abu serabut kelapa dan semen efektif meningkatkan stabilitas tanah lempung ekspansif [17]. Setiawan menjelaskan bahwa penambahan serbuk kaolin berpengaruh terhadap perubahan batas konsistensi tanah lempung ekspansif [18].

Selain penggunaan material stabilisasi, waktu pemeraman juga menjadi faktor penting dalam peningkatan kekuatan tanah. Herman menyatakan bahwa semakin lama waktu pemeraman maka nilai CBR tanah lempung yang distabilisasi abu serbuk kayu mengalami peningkatan [19]. Hayati dan Budhi menunjukkan bahwa variasi waktu pemeraman memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kuat tekan bebas tanah lempung yang distabilisasi abu kayu [20]. Penelitian Kosat et al. juga menyimpulkan bahwa waktu pemeraman berpengaruh terhadap peningkatan nilai kuat tekan bebas dan permeabilitas tanah lempung yang dicampur semen dan abu ampas tebu [21]. Amran dan Yuda menyatakan bahwa tingkat kepadatan tanah turut mempengaruhi nilai kuat tekan bebas tanah lempung ekspansif [22]. Atina Rezki menemukan bahwa penggunaan abu ampas tebu dan semen mampu meningkatkan kuat tekan bebas tanah lempung secara optimal pada kadar campuran tertentu [23].

Penelitian lain mengenai stabilisasi tanah juga dilakukan oleh Andi Anisah Nurul Zahra yang menyimpulkan bahwa campuran fly ash dan abu sekam padi dapat meningkatkan kuat geser dan menurunkan permeabilitas tanah lempung lunak [24]. Dzulfadli Rauf menjelaskan bahwa penggunaan bahan aditif alkalin pada stabilisasi semen mampu meningkatkan karakteristik kuat tekan tanah [25]. Irwhan Jaya Susanto menyatakan bahwa abu ampas tebu dan kapur dapat menurunkan konsolidasi tanah lempung [26]. John Tri Hatmoko juga menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan abu ampas tebu dan kapur efektif meningkatkan kuat tekan bebas tanah lempung ekspansif [27]. Sri Wahyuni Hutagalung menyimpulkan bahwa penggunaan serbuk kaca dan semen mampu meningkatkan stabilitas tanah lempung melalui peningkatan nilai kuat tekan bebas [28].

Meskipun penelitian mengenai stabilisasi tanah telah banyak dilakukan, penggunaan abu cangkang sawit pada tanah lempung Bengawan Madiun dengan variasi waktu pemeraman masih jarang dikaji. Penelitian ini memiliki unsur kebaruan pada pemanfaatan abu cangkang sawit sebagai bahan stabilisasi tanah lempung lokal Bengawan Madiun dengan analisis pengaruh variasi waktu pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu cangkang sawit dan variasi waktu

pemeraman terhadap sifat fisis serta nilai kuat tekan bebas tanah lempung Bengawan Madiun. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif metode stabilisasi tanah yang ekonomis, ramah lingkungan, dan aplikatif untuk mendukung pembangunan infrastruktur berkelanjutan.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk menganalisis pengaruh penambahan abu cangkang sawit dan variasi waktu pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas tanah lempung Bengawan Madiun. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dengan mengacu pada standar ASTM dan SNI yang berlaku. Tanah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari kawasan bantaran Bengawan Madiun, Jawa Timur. Material stabilisasi yang digunakan berupa abu cangkang sawit hasil pembakaran limbah kelapa sawit yang telah dihaluskan dan lolos saringan No. 200 agar ukuran butiran menjadi lebih seragam.

Variasi campuran abu cangkang sawit yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dari berat kering tanah. Variasi waktu pemeraman yang digunakan meliputi 0 hari, 1 hari, 4 hari, 7 hari, dan 14 hari. Tahapan penelitian dimulai dari pengambilan sampel tanah, persiapan material, pengujian sifat fisis tanah asli, pengujian pemadatan, pembuatan benda uji, proses pemeraman, hingga pengujian kuat tekan bebas. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengujian sifat fisis tanah dilakukan untuk mengetahui karakteristik dasar tanah asli sebelum dilakukan stabilisasi. Pengujian meliputi kadar air, analisis ukuran butiran, berat jenis, dan batas Atterberg. Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan SNI 03-1965-2008, sedangkan analisis ukuran butiran menggunakan SNI 03-3423-2008. Pengujian berat jenis tanah mengacu pada ASTM D854 dan pengujian batas Atterberg menggunakan ASTM D4318. Pengujian pemadatan standar dilakukan berdasarkan SNI 1742:2008 untuk memperoleh kadar air optimum (Optimum Moisture Content/OMC) dan berat isi kering maksimum (Maximum Dry Density/MDD). Jenis pengujian dan standar yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Jenis Pengujian dan Standar Acuan

No	Jenis Pengujian	Standar
1	Kadar air	SNI 03-1965-2008
2	Analisis ukuran butiran	SNI 03-3423-2008
3	Berat jenis tanah	ASTM D854
4	Batas Atterberg	ASTM D4318
5	Pemadatan standar	SNI 1742:2008
6	Kuat tekan bebas	SNI 3638-2012

Pembuatan benda uji dilakukan menggunakan kadar air optimum hasil pengujian pemadatan. Campuran tanah dan abu cangkang sawit dicetak menggunakan mold silinder sesuai standar pengujian Unconfined Compression Test (UCT). Setelah proses pencetakan selesai, benda uji diperam sesuai variasi waktu pemeraman yaitu 0, 1, 4, 7, dan 14 hari dalam kondisi tertutup agar kadar air tetap terjaga. Variasi campuran abu cangkang sawit dan waktu pemeraman yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variasi Campuran Abu Cangkang Sawit dan Waktu Pemeraman

No	Abu Cangkang Sawit (%)	Waktu Pemeraman (Hari)
1	0	0, 1, 4, 7, 14
2	3	0, 1, 4, 7, 14
3	6	0, 1, 4, 7, 14
4	9	0, 1, 4, 7, 14
5	12	0, 1, 4, 7, 14
6	15	0, 1, 4, 7, 14

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan menggunakan alat Unconfined Compression Test (UCT) berdasarkan SNI 3638-2012 untuk mengetahui kemampuan tanah dalam menahan beban aksial tanpa tekanan lateral. Nilai kuat tekan bebas diperoleh berdasarkan beban maksimum yang diterima benda uji hingga mengalami keruntuhan. Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif dan komparatif melalui hubungan antara variasi abu cangkang sawit, waktu pemeraman, dan nilai kuat tekan bebas tanah lempung Bengawan Madiun sehingga diperoleh campuran optimum yang memberikan peningkatan kekuatan tanah paling efektif.

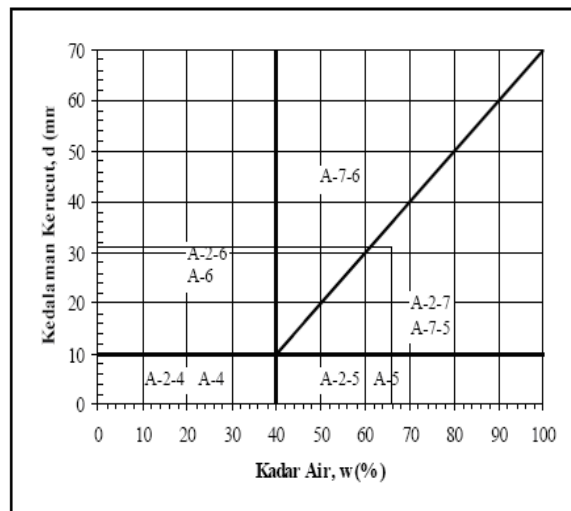
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian sifat fisis tanah menunjukkan bahwa tanah lempung Bengawan Madiun memiliki potensi pengembangan yang tinggi sehingga kurang baik digunakan sebagai tanah dasar konstruksi jalan maupun pondasi bangunan. Berdasarkan hasil klasifikasi menurut sistem AASHTO yang ditunjukkan pada Gambar 2, tanah memiliki persentase lolos saringan No. 200 sebesar 55,53%, nilai batas cair sebesar 65,94%, dan indeks plastisitas sebesar 31,22%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah termasuk kelompok A-7-5 yang merupakan jenis tanah berlempung dengan kualitas kurang baik untuk konstruksi.

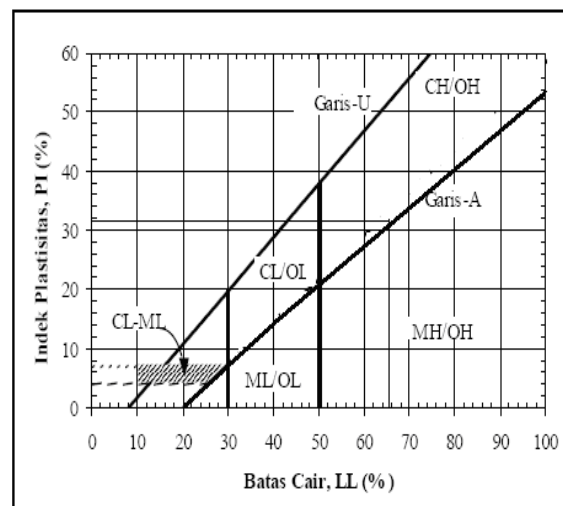
Selain itu, hasil klasifikasi menurut sistem Unified Soil Classification System (USCS) yang ditunjukkan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa tanah termasuk kelompok CH (Clay High), yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi atau lempung gemuk. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa tanah memiliki sifat kohesif tinggi, mudah mengalami perubahan volume akibat perubahan kadar air, serta memiliki daya dukung yang rendah.

Hasil pengujian pemadatan tanah asli yang ditunjukkan pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa kadar air optimum (Optimum Moisture Content/OMC) sebesar 35,05% dengan berat isi kering maksimum (Maximum Dry Density/MDD) sebesar 1,282 gr/cm³. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah lempung

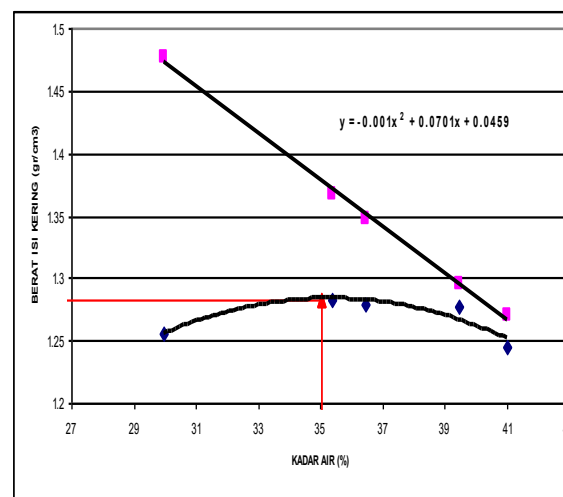
Bengawan Madiun memerlukan kadar air cukup tinggi untuk mencapai kondisi pemadatan optimum akibat dominasi partikel halus dan sifat plastis yang tinggi.



Gambar 2. Klasifikasi tanah asli berdasarkan AASHTO



Gambar 3. Klasifikasi tanah asli berdasarkan USCS



Gambar 4. Hasil uji pemadatan tanah asli

Pengaruh penambahan abu cangkang sawit terhadap nilai kuat tekan bebas tanah dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang sawit memberikan peningkatan terhadap nilai kuat tekan bebas tanah lempung. Nilai kuat tekan tanah asli tanpa campuran abu cangkang sawit sebesar 0,252 kg/cm², sedangkan pada penambahan abu cangkang sawit 15% meningkat menjadi 0,621 kg/cm².

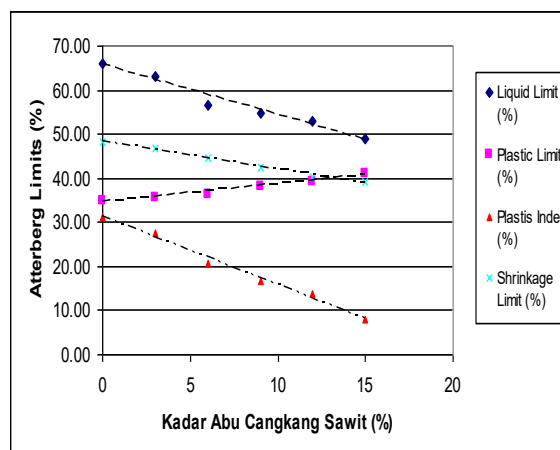
Tabel 3. Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Tanah dengan Variasi Abu Cangkang Sawit

No	Abu Cangkang Sawit (%)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
1	0	0.252
2	3	0.292
3	6	0.32
4	9	0.448
5	12	0.475
6	15	0.621

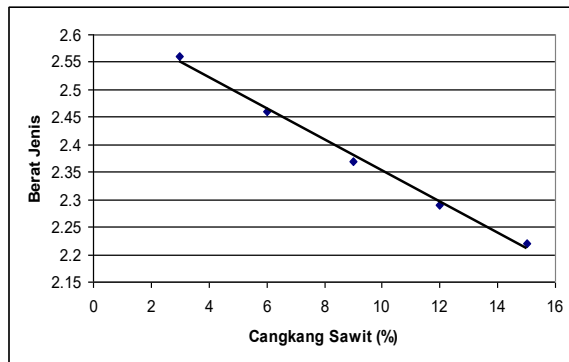
Pengaruh penambahan abu cangkang sawit terhadap batas Atterberg ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai batas cair (Liquid Limit), indeks plastisitas (Plasticity Index), dan batas susut (Shrinkage Limit) mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar abu cangkang sawit, sedangkan nilai batas plastis (Plastic Limit) mengalami peningkatan. Penurunan indeks plastisitas menunjukkan bahwa tanah menjadi lebih stabil dan memiliki potensi pengembangan yang lebih kecil.

Nilai batas susut mengalami penurunan pada setiap variasi campuran abu cangkang sawit. Penambahan abu cangkang sawit 3% menurunkan batas susut sebesar 1,61%, penambahan 6% sebesar 2,12%, penambahan 9% sebesar 2,22%, dan penambahan 12% sebesar 0,95%. Penurunan batas susut menunjukkan bahwa campuran abu cangkang sawit mampu mengurangi potensi retak pada tanah akibat perubahan kadar air. Selain itu, nilai indeks plastisitas juga mengalami penurunan secara bertahap sehingga menunjukkan adanya perbaikan karakteristik tanah lempung menjadi lebih stabil.

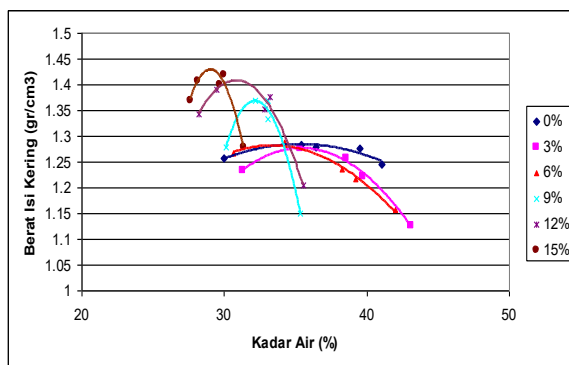
Pengaruh penambahan abu cangkang sawit terhadap berat jenis tanah ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis tanah mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar abu cangkang sawit. Hal ini terjadi karena berat jenis abu cangkang sawit lebih rendah dibandingkan berat jenis tanah asli sehingga menyebabkan berat jenis campuran menjadi lebih kecil. Penurunan berat jenis juga menunjukkan adanya perubahan struktur tanah akibat berkurangnya rongga pori dan meningkatnya ikatan antarpartikel tanah. Hubungan antara kadar air optimum dan berat isi kering maksimum pada setiap variasi campuran abu cangkang sawit ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar kadar abu cangkang sawit yang ditambahkan maka kadar air optimum cenderung menurun, sedangkan berat isi kering maksimum meningkat.



Gambar 5. Hubungan batas Atterberg dengan persentase abu cangkang sawit



Gambar 6. Hubungan persentase abu cangkang sawit dengan berat jenis



Gambar 7. Hubungan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum dengan variasi abu cangkang sawit

Kondisi ini menunjukkan bahwa abu cangkang sawit mampu memperbaiki gradasi tanah dan meningkatkan kepadatan tanah setelah proses pemadatan. Pengaruh variasi abu cangkang sawit dan waktu pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas tanah lempung disajikan pada Tabel 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan bebas meningkat seiring bertambahnya kadar abu cangkang sawit dan lamanya waktu pemeraman hingga mencapai kondisi optimum. Nilai kuat tekan maksimum diperoleh pada campuran abu cangkang sawit 12% dengan waktu pemeraman 14 hari sebesar 1,231 kg/cm².

Tabel 4. Hubungan Penambahan Abu Cangkang Sawit dan Waktu Pemeraman terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas

Abu Cangkang Sawit (%)	0 Hari	1 Hari	4 Hari	7 Hari	14 Hari
0	0.252	0.268	0.306	0.318	0.365
3	0.292	0.292	0.343	0.362	0.462
6	0.32	0.38	0.442	0.469	0.557
9	0.448	0.664	0.719	0.787	0.853
12	0.475	0.692	0.84	1.061	1.231
15	0.621	1.014	1.012	0.845	0.692

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kuat tekan bebas terjadi secara signifikan pada campuran abu cangkang sawit hingga kadar 12%. Kondisi tersebut disebabkan oleh terbentuknya ikatan antarpartikel tanah dan material abu cangkang sawit yang meningkatkan kekuatan tanah selama proses pemeraman. Namun, pada penambahan abu cangkang sawit 15% terjadi penurunan nilai kuat tekan setelah pemeraman 7 hingga 14 hari. Hal ini menunjukkan bahwa kadar abu yang terlalu tinggi menyebabkan campuran menjadi kurang efektif sehingga mengurangi kekuatan ikatan antarpartikel tanah.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang sawit dan variasi waktu pemeraman mampu memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah lempung Bengawan Madiun.

Campuran optimum diperoleh pada kadar abu cangkang sawit 12% dengan waktu pemeraman 14 hari, dimana berdasarkan klasifikasi kekuatan tanah menurut Braja M. Das, tanah tersebut termasuk kategori sangat kaku sehingga berpotensi digunakan sebagai material tanah dasar konstruksi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tanah lempung Bengawan Madiun termasuk tanah berplastisitas tinggi dengan klasifikasi CH menurut USCS dan A-7-5 menurut AASHTO sehingga kurang baik digunakan sebagai tanah dasar konstruksi tanpa perbaikan. Penambahan abu cangkang sawit memberikan pengaruh terhadap sifat fisis tanah, dimana nilai indeks plastisitas, batas cair, batas susut, dan berat jenis tanah mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar abu cangkang sawit. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa abu cangkang sawit mampu mengurangi potensi pengembangan tanah lempung dan meningkatkan stabilitas tanah.

Hasil pengujian pemadatan menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang sawit menyebabkan kadar air optimum menurun dan berat isi kering maksimum meningkat. Selain itu, nilai kuat tekan bebas tanah mengalami peningkatan akibat penambahan abu cangkang sawit dan lamanya waktu pemeraman. Nilai kuat tekan bebas optimum diperoleh pada campuran abu cangkang sawit 12% dengan waktu pemeraman 14 hari sebesar 1,231 kg/cm². Namun, pada campuran 15% terjadi penurunan nilai kuat tekan setelah pemeraman lebih dari 7 hari sehingga menunjukkan bahwa kadar abu yang terlalu tinggi menyebabkan campuran menjadi kurang efektif.

Secara keseluruhan, penggunaan abu cangkang sawit terbukti efektif sebagai bahan stabilisasi tanah lempung Bengawan Madiun karena mampu memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah. Pemanfaatan limbah abu cangkang sawit juga dapat menjadi alternatif material stabilisasi yang ekonomis dan ramah lingkungan untuk mendukung pembangunan konstruksi geoteknik berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- [1] B. M. Das, *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Jakarta: Erlangga, 1995.
- [2] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1992.
- [3] J. E. Bowles, *Sifat-Sifat Fisis Geoteknis Tanah, Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga, 1986.
- [4] G. D. Soedarmo dan S. J. E. Purnomo, *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Kanisius, 1997.
- [5] L. D. Wesley, *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu*. Jakarta: Andi, 1977.
- [6] K. Terzaghi dan R. B. Peck, *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Erlangga, 1987.
- [7] A. Casagrande, "Unified Soil Classification System (USCS)," 1942.
- [8] A. Husen dan A. S. Baranyanan, "Pengaruh pembangunan infrastruktur pelabuhan, infrastruktur jalan dan infrastruktur jembatan terhadap pertumbuhan ekonomi Maluku Utara," *Jurnal Poros Ekonomi*, vol. X, 2021.
- [9] Imsar dan M. Qomaruz Zaman, "Dampak pembangunan infrastruktur terhadap ekonomi regional di Indonesia," *Jurnal Ekonomi-Qu*, vol. 14, no. 2, pp. 42–48, 2024.
- [10] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I & II, Edisi Kelima*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2006.
- [11] H. C. Hardiyatmo, *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2010.
- [12] E. Sutarman, *Konsep dan Aplikasi Mekanika Tanah*. Jakarta: Andi.
- [13] R. Amelia, "Pengaruh penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung dan tanah pasir terhadap nilai CBR tanah," 2021.
- [14] A. Nur dan S. Joesi, "Stabilisasi tanah lempung menggunakan abu limbah gergaji kayu terhadap nilai kuat tekan bebas (Studi kasus Jalan Kampung Juhut, Kecamatan Tanjung, Kabupaten Pandeglang, Banten)," *Jurnal Kacapuri*, vol. 4, no. 1, pp. 223–233, 2022.

- [15] H. Pristianto, R. Rokhman, dan I. Irman, “Studi daya dukung stabilisasi tanah lempung menggunakan campuran abu kayu,” *Jurnal Momen Teknik Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 62–66, 2022.
- [16] M. Z. Ariska dan W. Lestarini, “Stabilisasi tanah lempung menggunakan campuran bubuk arang kayu dan cat tembok,” *Jurnal Device*, vol. 13, 2023.
- [17] F. M. Bilal dan F. L. Endah, “Stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan bahan stabilisator abu serabut kelapa dan semen,” *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, vol. 7, no. 3, 2024.
- [18] Y. Setiawan, “Kajian pengaruh penambahan material serbuk kaolin pada batas konsistensi tanah lempung ekspansif Cikarang,” *Jurnal Ismetek*, 2024.
- [19] Herman, “Pengaruh waktu pemeraman terhadap nilai CBR tanah lempung yang distabilisasi dengan abu serbuk kayu,” Institut Teknologi Padang, Sumatera Barat, 2017.
- [20] D. N. Hayati dan W. S. Budhi, “Pengaruh variasi waktu pemeraman terhadap kuat tekan bebas tanah lempung yang distabilisasi dengan abu kayu,” *Jurnal Riset Teknik Sipil dan Sains*, vol. 4, no. 1, pp. 30–37, 2025.
- [21] B. R. N. Kosat, F. Lebang, dan A. Setiawan, “Pengaruh waktu pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas dan permeabilitas tanah lempung yang dicampur dengan semen dan abu ampas tebu,” *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, vol. 1, no. 3, pp. 201–208, 2023.
- [22] Y. Amran dan P. D. Yuda, “Parameter nilai kuat tekan bebas tanah terhadap tingkat kepadatan tanah lempung ekspansif,” *Tapak*, vol. 12, no. 2, pp. 166–178, 2023.
- [23] Atina Rezki, “Kajian kuat tekan bebas pada tanah lempung yang distabilisasi dengan abu ampas tebu dan semen,” Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan, 2013.
- [24] A. A. N. Zahra, “Analisis kuat geser dan permeabilitas tanah lempung lunak yang dicampur dengan fly ash dan abu sekam padi,” Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Bosowa, 2017.
- [25] Dzulfadli Rauf, “Uji karakteristik kuat tekan tanah stabilisasi semen dengan bahan aditif alkalin,” Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar, 2018.
- [26] Irwhan Jaya Susanto, “Pengaruh penambahan abu ampas tebu terhadap penurunan konsolidasi tanah lempung yang distabilisasi dengan kapur,” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2014.
- [27] J. T. Hatmoko, “Kuat tekan bebas tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan abu ampas tebu dan kapur,” Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta, 2008.
- [28] S. W. Hutagalung, “Kajian kuat tekan bebas stabilisasi tanah lempung dengan stabilizing agents serbuk kaca dan semen,” Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan, 2013.