

PENULANGAN PERKERASAN LENTUR DI ATAS TANAH LEMPUNG LUNAK MENGUNAKAN ANYAMAN KARET BAN BEKAS

REINFORCEMENT OF FLEXIBLE PAVEMENT SOFT CLAY SUBGRADE USING WASTE TIRES MESH

Sumiyanto*¹, Yanto²

*Email: masumiyanto@yahoo.com

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

Abstrak—Perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan dengan material berupa campuran agregat dengan aspal. Pada jenis perkerasan ini, beban kendaraan diteruskan ke tanah dasar dengan sebaran luasan distribusi yang kecil sehingga tegangan yang terjadi pada tanah dasar besar. Perkerasan lentur yang berada di atas tanah lempung lunak akan mempunyai permasalahan kapasitas dukung yang dipengaruhi oleh rendahnya kapasitas dukung tanah dasar. Penulangan tanah dasar lempung lunak dengan anyaman karet ban bekas merupakan upaya meningkatkan kapasitas tanah dasar yang diharapkan akan berdampak meningkatkan kapasitas dukung perkerasan. Pemanfaatan ban bekas dalam bentuk anyaman merupakan upaya pemanfaatan material limbah. Penelitian perlu dilakukan untuk mengkaji pengaruh penulangan anyaman karet ban bekas pada tanah lempung terhadap peningkatan kapasitas dukung perkerasan lentur. Penelitian dilakukan di laboratorium dengan melakukan uji beban pada kotak uji. Anyaman karet ban bekas dipasang di atas lapisan tanah lempung dan di bawah lapis pondasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan anyaman karet ban bekas (AKBB) efektif meningkatkan kapasitas dukung perkerasan lentur di atas tanah lempung, namun tidak berpengaruh pada kekakuannya. Peningkatan kuat dukung untuk pemasangan AKBB di atas tanah dasar sebesar 13%, di atas lapis perkerasan sebesar 31%, dan dua lapis di bawah dan di atas lapis pondasi sebesar 63%.

Kata kunci — anyaman karet ban bekas, perkerasan lentur, tanah dasar, tanah lempung

Abstract—Flexible pavement is a type of pavement consisting of aggregates and asphalts. In this type, the vehicle load is distributed to the subgrade with a small area so that the stress on the subgrade is high. Flexible pavement on soft clay will have a bearing capacity problem that is the low bearing capacity of the subgrade. Reinforcement of soft clay subgrade with used rubber tires is an effort to increase subgrade capacity which is expected to have an impact on increasing pavement bearing capacity. Utilization of used tires in the form of woven is an effort to use waste materials. Research needs to be done to examine the effect of reinforcement of used tire rubber on clay soils on increasing the capacity of support for flexible pavement. The study was conducted in a laboratory by load test in the test box. Tire rubber is installed between subgrade layer and foundation layer. The results showed that the installation of rubber tire (AKBB) was effective in increasing the capacity of flexible pavement on clay subgrade, but did not increasing the stiffness. The increase in bearing capacity to install the AKBB on the subgrade by 13%, on foundation layer by 31%, and the two layers on subgrade and on foundation by 63%.

Keywords — mesh of waste tire rubber, flexible pavement, subgrade, clay

I. PENDAHULUAN

Rendahnya kuat dukung tanah dasar merupakan salah satu faktor yang menyebabkan kerusakan jalan raya, di samping faktor beban dan perkerasan. Selain itu, tentunya kerusakan jalan juga dipengaruhi oleh faktor konstruksi perkerasan dan beban berlebih [1]. Pada perkerasan lentur (aspal), tegangan yang

diterima tanah dasar akan lebih besar dibandingkan pada perkerasan kaku, sehingga resiko kerusakan jalan lebih tinggi. Secara umum kuat dukung tanah dipengaruhi oleh kepadatan dan nilai kadar airnya. Pada tanah pasir, kepadatan merupakan faktor yang menentukan nilai kuat dukungnya [2]. Sedangkan faktor kadar air lebih berpengaruh pada tanah

lempung [3]. Pada musim hujan, tanah lempung mengalami penurunan kuat dukung, sehingga berpengaruh terhadap nilai kuat dukung jalan raya di atasnya. Secara umum tanah lunak mempunyai nilai SPT kurang dari 4 atau nilai sondir kurang dari 10 kg/cm² [4].

Upaya meningkatkan kapasitas dukung dapat dilakukan pada tanah dasarnya, pada perkerasannya, atau pada kedua-duanya. Secara umum perbaikan dalam dua jenis, yaitu secara fisik dan kimiawi. Perbaikan secara fisik dapat dilakukan dengan melakukan pemadatan, *vertical drain*, penggantian atau pencampuran tanah yang lebih baik. Sedangkan perbaikan secara kimiawi dilakukan dengan menambahkan bahan stabilisasi, sehingga sering disebut stabilisasi tanah. Stabilisasi pada tanah lempung umumnya dilakukan dengan mencampurkan kapur secara langsung, sedangkan untuk tanah pasir biasanya menggunakan semen [5]. Beberapa pengembangan metode stabilisasi dengan kapur antara lain metode kolom kapur [6], dan metode injeksi larutan kapur [7]. Stabilisasi tanah lempung menggunakan kapur dengan berbagai metode tersebut perbaikan sifat-sifat lempung.

Penulangan tanah merupakan metode perbaikan tanah dengan memasang tulangan pada tanah lunak. Material yang digunakan sebagai tulangan harus memiliki kuat tarik yang tinggi seperti *rope fibers*, metal bar, maupun *geosynthetics* [8]. *Geosynthetics* merupakan salah satu bahan penulangan tanah yang dapat dibedakan dalam dua jenis, yaitu *geotextiles* dan *geogrids*. Kuat tarik *geogrids* berkisar antara 840 lb/ft²/ft – 9.600 lb/ft²/ft atau setara dengan 12 kN/m²/m – 140 kN/m²/m tergantung dari merk dan tipenya [9]. Penelitian tentang perkuatan tanah dengan menggunakan *geosynthetics* dapat menaikkan kapasitas dukung tanah [10][8][11]. Dalam pemasangan geogrid, kedalaman merupakan salah satu faktor penting, dan kedalaman yang paling efektif pada kedalaman 0,2 lebar fondasi, dan kurang efektif pada kedalaman lebih dari 0,5 lebar fondasi [12]. Pada model jalan raya pemasangan geogrids paling efektif diletakan tepat di bawah lapisan aspal beton atau dengan kedalaman 5 cm dari permukaan perkerasan [13].

Ban bekas merupakan limbah yang sulit terurai sehingga berpotensi mengganggu lingkungan, untuk pemusnahan dengan pembakaran memerlukan suhu yang tinggi sampai 322°C [14]. Jumlah ban bekas di Indonesia sangat besar yaitu sekitar 11 juta ton per tahun [15]. Pemanfaatan saat ini masih sangat terbatas untuk sandal, tempat sampah, dan pemanfaatan lain yang masih sangat terbatas. Secara

teknis, karet ban bekas memiliki sifat-sifat mekanik yang cukup baik, yaitu kuat tarik tinggi dan modulus elastisitas yang tinggi.

Ban bekas merupakan limbah yang akan mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Pemanfaatan sebagai material konstruksi upaya mengatasi permasalahan lingkungan sekaligus mengembangkan material alternatif. Pemanfaatan ban bekas untuk perkuatan tanah dilakukan dengan memanfaatkan kuat tariknya yang tinggi dan sifatnya yang awet. Karet ban bekas memiliki kuat tarik yang tinggi [16], sehingga cocok untuk perkuatan tanah. Metode perkuatan tanah dengan mencampurkan serat dari ban bekas dapat meningkatkan kuat geser pada tanah lempung, dengan kadar optimum 1,5% [17].

Pemanfaatan ban bekas dalam bentuk anyaman karet ban bekas (AKBB) telah diteliti pada tahun-tahun sebelumnya dan menunjukkan potensi dikembangkan untuk perkuatan tanah sebagai alternatif pengganti *geogrids*. Penelitian perkuatan pada tanah lempung yang menghasilkan kedalaman optimum sebesar 7,5 cm dari permukaan tanah atau 1,4 dari lebar beban [18].

Tujuan penelitian untuk mengetahui besarnya pengaruh pemasangan anyaman karet ban bekas pada tanah dasar lempung lunak terhadap kapasitas dukung perkerasan lentur.

II. METODE

Penelitian dilakukan di laboratorium dengan melakukan uji beban pada benda uji perkerasan lentur di atas tanah lempung. Benda uji dibuat di dalam kotak uji ukuran 80 cm x 80 cm dengan tinggi 60 cm. Benda uji dibuat dalam 4 rancangan, dengan masing-masing dilakukan pengulangan 3 kali. Rancangan benda uji tersebut adalah:

- 1) Benda uji berupa tanah dasar, agregat lapis fondasi, lapis campuran aspal (BU-0). Benda uji ini tanpa diperkuat dengan AKBB.
- 2) Benda uji berupa tanah dasar, agregat lapis fondasi, lapis campuran aspal, dan dipasang AKBB diantara tanah dasar dan lapis fondasi (BU-1).
- 3) Benda uji berupa tanah dasar, agregat lapis fondasi, lapis campuran aspal, dan dipasang AKBB diantara lapis fondasi dan lapisan aspal (BU-2).
- 4) Benda uji berupa tanah dasar, agregat lapis fondasi, lapis campuran aspal, dan dipasang 2 (dua) lapis AKBB (BU-03). Lapis AKBB pertama dipasang antara tanah dasar dan lapis

fondasi, dan lapis ke dua dipasang antara lapis fondasi dan lapis aspal.

A. Penyiapan Benda Uji

Benda uji dibuat di dalam kotak uji yang telah disiapkan. Tanah lempung dimasukkan ke dalam kotak uji dalam tiga lapis dengan total ketebalan akhir 45 cm. Untuk setiap lapis tanah yang dimasukkan setebal 25 cm dengan target mendapatkan tebal setelah padat 15 cm, dan dipadatkan dengan alat penumbuk *proctor modified*, dengan jumlah pukulan 150 kali per lapisan atau setara dengan energi 32 kJ/m³. Energi pemadatan ini setara dengan energi 5% dari pengujian proctor.

Lapis pondasi yang berupa kerikil kasar (split 3/2) dimasukkan setebal 4 cm dan dipadatkan. Agregat yang lebih halus (1/2) dimasukkan untuk mengisi rongga antar butiran dan dilakupan pemadatan lagi. Pemadatan dilakukan dengan tumbukan 150 kali dengan penumbuk *proctor modified*. Selanjutnya dilapisi dengan lapis permukaan yang berupa campuran aspal dan split 1/2 dengan tebal 2 cm.

AKBB dibuat dari sayatan karet ban bekas dengan lebar 3 cm dan tebal 0,5 cm. Anyaman karet tersebut dibuat dengan jarak 12 cm (Gambar 1). Pemasangan AKBB dipasang sebelum lapis di atasnya dipasang. Untuk BU-1, setelah tanah selesai dipadatkan AKBB dipasang sebelum lapis pondasi dipasang. Untuk BU-2, AKBB dipasang setelah lapis pondasi selesai dipadatkan. Untuk BU-3, AKBB lapis pertama dipasang setelah tanah dasar dan lapis kedua dipasang setelah lapis pondasi selesai dipadatkan.

Setelah benda uji siap, selanjutnya dilakukan pemasangan peralatan pembebanan (Gambar 2). Peralatan terdiri dari rangka baja (balok) dan alat beban. Alat pembebanan terdiri atas:

- 1) pelat beban dari baja dengan diameter 15 cm dan tebal 10 mm,
- 2) *hydraulic jack*,
- 3) *dial gauge* penurunan, dan
- 4) *proving ring* beban yang dilengkapi *dial gauge* beban.

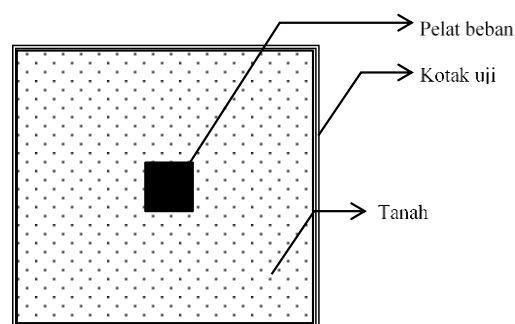
B. Pengujian

Setelah semua peralatan terpasang, lihat Gambar-2, benda uji siap untuk dilakukan pengujian. Pengujian utama dilakukan setelah persiapan dan pemasangan alat beban selesai dilakukan. Pembebanan dilakukan dengan *hydraulic jack* dengan penurunan konstan. Pembacaan *dial gauge* beban dilakukan pada setiap penurunan 50 strip (0,50 mm). Besarnya beban yang berkerja dihitung

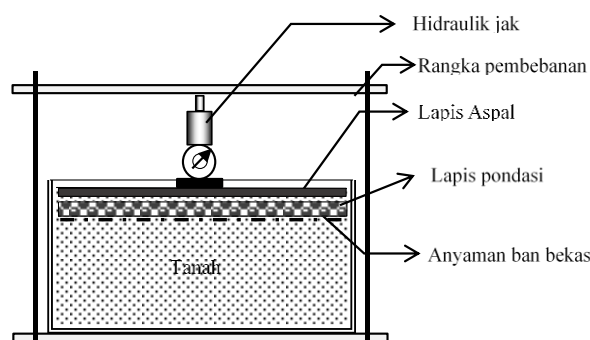
berdasarkan besarnya *dial gauge* beban dikalikan kekakuan *proving ring* (nilai kalibrasi).



Gambar-1. Anyaman karet ban bekas (AKBB).



Tampak atas



Potongan

Gambar-2. Kotak uji dan skema pengujian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan secara langsung dan hasil pengujian propertisnya tanah yang digunakan merupakan tanah lempung. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian gradasi ukuran butiran, uji batas-batas konsistensi tanah, dan uji berat jenis. Hasil pengujian didapatkan nilai berat jenis tanah lempung (G)

sebesar 2,73. Uji batas-batas konsistensi tanah didapatkan nilai batas cair atau *liquid limit* (LL) sebesar 50,14%, nilai batas plastis 31,35% sehingga nilai indeks plastisitasnya (PI) sebesar 18,80%. Hasil uji gradasi butiran didapatkan fraksi halusnya sebesar 63,17%.

Pengujian benda uji dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap sampai mencapai ultimat. Seting beban disajikan dalam Gambar 3.. Pengujian dilakukan dengan metode *displacement control*, yaitu dengan pembacaan pada setiap penambahan penurunan yang konstan. Pada pengujian ini pembacaan dilakukan setiap penurunan 50 strip atau 0,5 mm. Setiap penambahan 50 strip penurunan, dilakukan pembacaan dial beban. Pengujian dilakukan sampai beban mencapai *ultimate* atau runtuh dan selalu dicatat besarnya dial beban setiap penambahan penurunan 50 strip (0,5 mm).

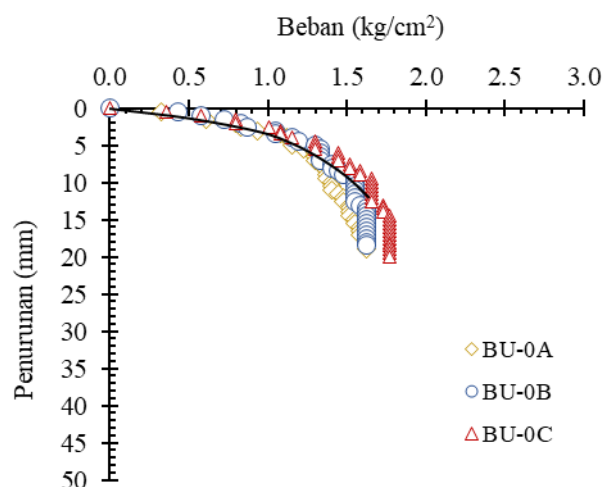


Gambar-3. Setting alat uji beban.

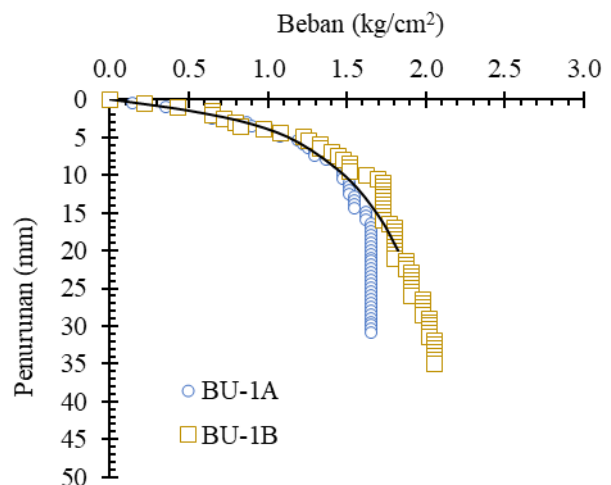
Hasil pengujian beban pada perkerasan tanpa perkuatan (BU-0) disajikan dalam Gambar 4. Pengujian dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali, dan ketiganya menunjukkan pola yang hampir sama dengan nilai beban maksimum antara 1,6-1,8 kg/cm². Pada awal-awal pembebanan grafik hubungan beban dan penurunan cenderung linear, dan pada beban besar kelengkungan grafik semakin besar. Keruntuhan terjadi pada penurunan sekitar 15 mm atau 10% dari lebar pelat beban.

Pengujian beban pada tanah lempung yang diperkuat dengan AKBB diantara tanah dasar dan lapis pondasi (BU-1) disajikan dalam Gambar 5. Hubungan antara beban dan penurunan menunjukkan pola yang sama dengan pengujian perkerasan tanpa perkuatan. Pada awal-awal beban hubungan antara tegangan dan penurunan mendekati

linier sampai tegangan sekitar 0,8 kg/cm², selanjutnya setiap penambahan beban akan menghasilkan penurunan yang lebih besar dari kondisi awal. Kapasitas dukung perkerasan yang diperkuat dengan AKBB diantara tanah dasar dan lapis pondasi sebesar 1,8 kg/cm². Kapasitas dukung benda uji BU-1 sedikit lebih tinggi (13%) dari BU-0, hal ini menunjukkan bahwa pemasangan AKBB diantara tanah dasar dan lapis pondasi berpengaruh meningkatkan kuat dukung walaupun tidak besar. Pada BU-1, beban *ultimate* terjadi pada penurunan sekitar 40 mm.



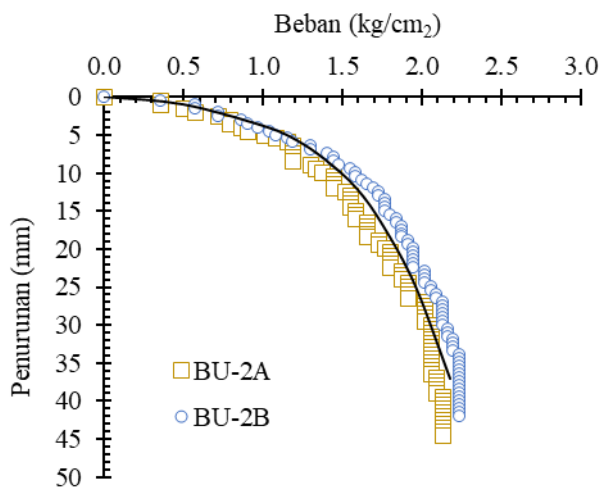
Gambar-4. Grafik hubungan antara beban dan penurunan pada pengujian perkerasan tanpa perkuatan (BU-0).



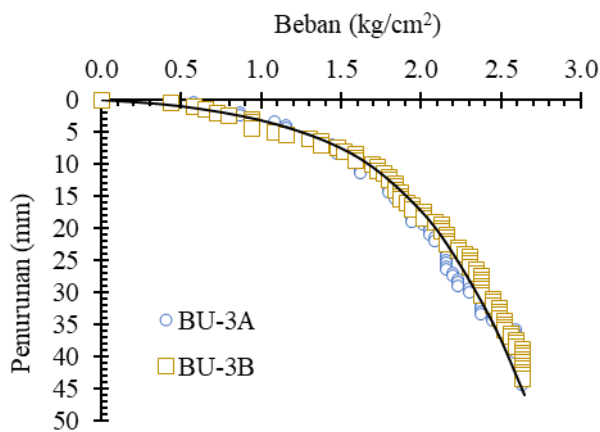
Gambar-2. Grafik hubungan antara beban dan penurunan pada pengujian perkerasan dengan perkuatan di atas lapis fondasi (BU-1)

Hasil pengujian beban pada perkerasan dengan perkuatan AKBB di atas lapis pondasi (BU-2) disajikan dalam Gambar 6. Perilaku pengujian perkerasan dengan perkuatan AKBB di atas lapis

pondasi (BU-2) menunjukkan pola yang sama dengan BU-0 dan BU-1, yaitu pada awal-awal pembebanan menunjukkan hubungan linear sampai dengan beban 0,8 kg/cm². Setelah itu hubungan tidak linear lagi, setiap penambahan beban akan menghasilkan penurunan yang lebih besar. Kuat dukung pada pengujian ini mencapai sekitar 2,1 kg/cm². Peningkatan kapasitas dukung pada BU-2 cukup besar yaitu sebesar 31%. Beban maksimum pada BU-2 terjadi pada penurunan 40 mm.



Gambar-6. Grafik hubungan antara beban dan penurunan pada pengujian perkerasan dengan perkuatan di antara lapis pondasi dan lapis permukaan (BU-2).



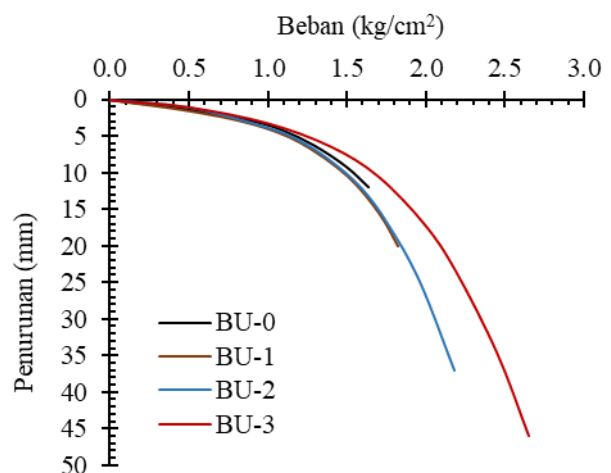
Gambar-7. Grafik hubungan antara beban dan penurunan pada pengujian perkerasan dengan perkuatan dua lapis di bawah dan di atas lapis fondasi (BU-3).

Pembebanan pada perkerasan dengan dua lapis perkuatan AKBB, di bawah lapis pondasi dan di atas lapis pondasi (BU-3) disajikan dalam Gambar 7. Perilaku beban pada BU-3 masih sama dengan pengujian yang lain, yaitu pada awal-awal pembebanan menunjukkan hubungan antara beban dan penurunan yang linear sampai dengan beban 0,8 kg/cm², dan selanjutnya setiap penambahan beban

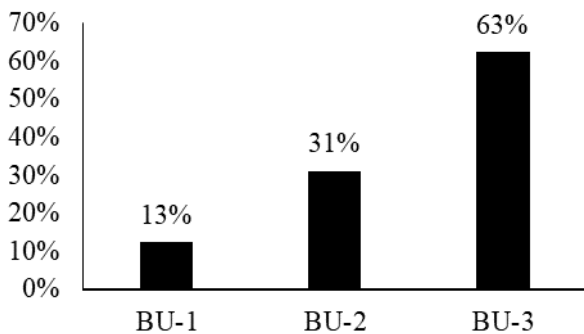
akan menghasilkan penurunan yang lebih besar. Perilaku ini tidak jauh beda dengan pengujian yang lain. Kapasitas dukung pada pengujian ini menghasilkan kuat dukung sekitar 2,6 kg/cm². Peningkatan kapasitas dukung pada BU-3 mencapai 63%. Beban ultimat pada BU-3 terjadi pada penurunan 40 mm.

Pengamatan pola grafik hubungan antara beban dan penurunan dari semua pengujian (BU-0, BU-1, BU-2, dan BU-3) menunjukkan pola yang sama (Gambar 8). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemasangan AKBB tidak mempengaruhi pola grafik hubungan beban dan penurunan, walaupun menghasilkan kuat dukung yang berbeda, perilaku ini sesuai dengan hasil pengujian pada geogrid[19]. Pola hubungan grafik tegangan regangan yang berhimpit tersebut menunjukkan nilai koefisien *subgrade* relatif sama. Pengaruh pemasangan AKBB terhadap peningkatan kuat dukung nampak terjadi pada deformasi yang besar (Gambar 8), dimana telah termobilisasinya kekuatan geser antara tanah dan AKBB (Gambar 10).

Pemasangan anyaman AKBB berpengaruh meningkatkan nilai kuat dukungnya Gambar 8 dan Gambar 9. Pada beban-beban kecil efek AKBB belum nampak, namun AKBB nampak berpengaruh pada beban besar. Perilaku ini menunjukkan bahwa AKBB bekerja pada penurunan (deformasi) yang besar. Pada beban-beban kecil deformasi yang terjadi kecil, beban didukung sepenuhnya oleh struktur perkerasan, dan AKBB belum termobilisasi. Pada deformasi yang besar AKBB bekerja dalam mendukung beban sehingga kapasitas dukung perkerasan meningkat.



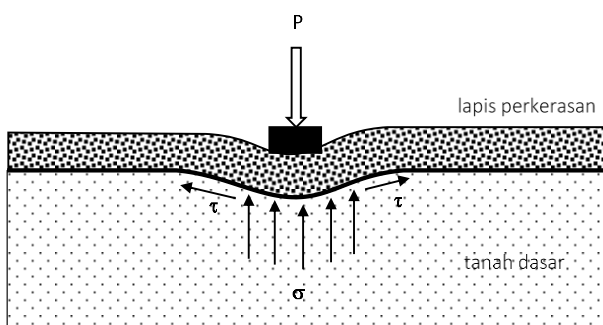
Gambar-8. Perbandingan grafik hubungan antara beban dan penurunan pada benda uji tanpa perkuatan (BU-0) dan dengan perkuatan (BU-1, BU-2, dan BU-3)



Gambar-9. Perbandingan pengaruh pemasangan AKBB terhadap peningkatan kapasitas dukung perkerasan lentur

Mekanisme peningkatan kuat dukung pada pemasangan AKBB terjadi akibat deformasi yang besar akan menarik AKBB (Gambar 10). Gesekan antara tanah dan AKBB akan menahan tegangan tarik yang terjadi. Pada deformasi kecil, tegangan tarik dan tegangan geser belum termobilisasi, sehingga efek pemasangan AKBB belum nampak. Pada deformasi yang besar AKBB tertarik dan gesekan tanah akan menahan, sehingga kapasitas dukung struktur perkerasan dengan AKBB meningkat, dan keruntuhan terjadi pada deformasi yang besar.

Mekanisme peningkatan kuat dukung pada pemasangan AKBB terjadi akibat deformasi yang besar akan menarik AKBB. Gesekan antara tanah dan AKBB akan menahan tegangan tarik yang terjadi. Pada deformasi kecil, tegangan tarik dan tegangan geser belum termobilisasi, sehingga efek pemasangan AKBB belum nampak. Pada deformasi yang besar AKBB tertarik dan gesekan tanah akan menahan, sehingga kapasitas dukung struktur perkerasan dengan AKBB meningkat, dan keruntuhan terjadi pada deformasi yang besar.



Gambar-10. Skema interaksi AKBB perkerasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan AKBB di atas lapis pondasi

memberikan peningkatan kuat dukung yang lebih besar, hal ini sesuai dengan hasil analisis dengan metode numerik pada geogrid [13], dimana kuat geser antara AKBB dan tanah berfungsi menahan tegangan tarik yang timbul. Pemasangan AKBB berhasil meningkatkan kuat dukung, namun efektivitasnya lebih rendah dari pada geogrid [19], yaitu kurang lebih 50%. Berdasarkan hal tersebut, kajian untuk meningkatkan efektivitasnya, AKBB masih perlu dilakukan. Kuat dukung tanah dipengaruhi oleh kepadatan [2] dan kadar airnya [3], sehingga kajian terkait variabel tersebut perlu dilakukan.

IV. PENUTUP

Pemasangan anyaman karet ban bekas (AKBB) pada pekerasan lentur menunjukkan efek peningkatan kapasitas dukungnya. Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah:

- 1) Pemasangan anyaman karet ban bekas (AKBB) meningkatkan kuat dukung, yaitu sebesar 13%, 31% dan 63% yang masing-masing untuk pemasangan AKBB di bawah lapis pondasi (BU-1), di atas lapis pondasi (BU-2), dan gabungan di atas dan di bawah lapis pondasi (BU-3).
- 2) Pemasangan AKBB dua lapis yaitu di atas tanah dasar dan di atas lapis pondasi menghasilkan kuat dukung tertinggi. Untuk AKBB satu lapis, pemasangan di atas lapis pondasi menghasilkan kuat dukung lebih tinggi dibandingkan AKBB di atas tanah dasar.
- 3) Pemasangan AKBB tidak mempengaruhi kekuatan struktur perkerasan.
- 4) AKBB bekerja pada deformasi yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Sugiyanto, "Optimasi Beban As Truk Untuk Meminimalkan Biaya Transportasi Dan Kerusakan Konstruksi Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Solo-Kartosura-Boyolali Provinsi Jawa Tengah)," *Din. Rekayasa*, vol. 1, no. 1, pp. 21–28, 2005.
- [2] Martini, "Pengaruh Tingkat Kepadatan Tanah Terhadap Daya Dukung Tanah," *SMARTek*, vol. 7, no. 2, pp. 69–81, 2009.
- [3] S. Siregar, F. Fatnanta, and Muhardi, "Pengaruh Perubahan Kadar Air Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Stabilisasi Tanah Cl-Ml Dengan Semen," *SIKLUS*, vol. 4, no. 2, pp. 111–122, 2018, doi: 10.31849/siklus.v4i2.1502.

- [4] S. Sosrodarsono, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: Erlangga, 1980.
- [5] O. G. Ingles and J. B. Metcalf, *Soil Stabilization*. Sydney. Australia: Butterworths, 1972.
- [6] A. Apriyono and Sumiyanto, "Pengaruh Variasi Jarak Kolom Kapur Dalam Stabilisasi Lempung Lunak Pada Tinjauan Nilai Indek Pemampatan (Cc) Tanah," *Din. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 1, pp. 61–65, 2011.
- [7] Sumiyanto and A. Apriyono, "Efektivitas Injeksi Larutan Kapur untuk Menurunkan Plastisitas Tanah Lempung sebagai Upaya Mengatasi Kerusakan Jalan Raya," *Din. Rekayasa*, vol. 8, no. 1, pp. 1–6, 2012.
- [8] P. Utomo, "Daya Dukung Ultimit Pondasi Dangkal Di Atas Tanah Pasir yang Diperkuat Geogrid," *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 6, no. 1, pp. 15–20, 2004, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/civ/article/view/15582>.
- [9] R. M. Koemer, *Designing with Geosynthetics*, 2th ed. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1990.
- [10] S. Adanur, Y. Gowayed, D. Elton, S. B. Mallick, and H. Zhai, "Design And Characterization of Geotextiles for High Performance Applications," *Anim. Genet.*, vol. A 94-B, pp. 1–9, 1996.
- [11] A. H. Boushehrian and N. Hatal, "Bearing Capacity of Ring Footing on Reinforced Clay," in *Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics*, 2008, vol. June 17-, pp. 328–331, doi: 10.4324/9780080940380.
- [12] A. Marto, M. Oghabi, and A. Eisazadeh, "Effect of geocell reinforcement in sand and its effect on the bearing capacity with experimental test; A review," *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 18, no. Bund Q, pp. 3501–3516, 2013.
- [13] H. Moayedi, S. Kazemian, A. Prasad, and B. B. K. Huat, "Effect of geogrid reinforcement location in paved road improvement," *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 14, no. Bund P, pp. 1–11, 2009.
- [14] T. Edeskar, "Use of tyre shreds in civil engineering applications: technical and environmental properties," 2006.
- [15] Nastain and A. Maryoto, "Pemanfaatan Pematangan Ban Bekas Untuk Campuran Beton Beton Serat Perkerasan Kaku," *Din. Rekayasa*, vol. 6, no. 1, pp. 14–18, 2010.
- [16] B. B. K. Huat, A. A. Aziz, and L. W. Chuan, "Application of scrap tires as earth reinforcement for repair of tropical residual soil slope," *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 13, pp. 1–9, 2008.
- [17] M. F. Tafti and M. Z. Emadi, "Impact of using recycled tire fibers on the mechanical properties of clayey and sandy soils," *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 21, no. 21, pp. 7113–7125, 2016.
- [18] A. Apriyono and Sumiyanto, "Penanggulangan Kerusakan Jalan Raya Akibat Tanah Dasar Lempung Lunak Menggunakan Anyaman Limbah Ban Bekas," Purwoketo, 2015.
- [19] A. Marto, M. Oghabi, and A. Eisazadeh, "The Effect of Geogrid Reinforcement on Bearing Capacity Properties of Soil Under Static Load; A Review," *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 18 J, pp. 1881–1898, 2013.