

ANALISIS NILAI CBR SEBAGAI PARAMETER KRITIS UNTUK PERENCANAAN JALAN RAYA

Sofya Marinda Putri Wilis¹, Andri Dwi Cahyono^{2*}, Moh. Ilham Farihi³, Moh. Abdul Aziz Hanafi⁴, Hanifatus Cintya⁵, Malik Ibrahim⁶, Mia Setiyo Asih⁷

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 641115, Indonesia

Email: sofyamarinda15@gmail.com

^{2*}Staf Pengajar, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 641115, Indonesia

Email: adcahyono@unik-kediri.ac.id

³Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 641115, Indonesia

Email: ilhamfarihi7@gmail.com

⁴Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 641115, Indonesia

Email: hanafiaziz87@gmail.com

⁵Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 641115, Indonesia

Email: hanifatuscintya@gmail.com

⁶Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 641115, Indonesia

Email: brampandai@gmail.com

⁷Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 641115, Indonesia

Email: miaasih822@gmail.com

ABSTRACT

Infrastructure development is one indicator of a country's progress that cannot be ignored. Road infrastructure is an important part of the transportation system that connects different locations, facilitates human mobility, and transports goods. In the construction and maintenance of road infrastructure, soil plays a crucial role, so the condition and strength of the soil must be considered. Soil plays a significant role in construction as it serves as the foundation or base for building structures. Soil that has sufficient strength to support road loads will facilitate road construction. This study was conducted to determine the California Bearing Ratio (CBR) value, so that appropriate actions can be taken to construct roads based on local soil conditions. The CBR method is commonly used in soil geotechnical testing for road planning. This method involves laboratory testing of soil samples to determine the California Bearing Ratio (CBR). The results show a CBR value of 22.5%, which falls under the category of very good. This indicates that there is no need for improvement efforts in the construction of the Jl. Panglima Besar Sudirman, Dsn. Bolawen Ds. Tiron Kec. Banyakan Kab. Kediri highway, allowing resources to be allocated to other areas in need of road infrastructure improvements to enhance accessibility and overall regional development.

Keywords: Clayey soil, Subgrade soil, Bearing capacity, CBR

ABSTRAK

Perkembangan infrastruktur merupakan salah satu indikator kemajuan suatu negara yang tidak dapat diabaikan. Infrastruktur jalan merupakan bagian penting dari sistem transportasi yang berperan dalam menghubungkan lokasi yang berbeda, memfasilitasi mobilitas manusia serta transportasi barang. Pada pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur jalan, tanah memiliki peran yang krusial, sehingga kondisi dan kekuatan tanah harus diperhatikan. Tanah merupakan pemegang peranan penting dalam bidang konstruksi karena menjadi pondasi atau dasar dalam membangun sebuah bangunan. Tanah yang memiliki kekuatan yang cukup stabil untuk mendukung beban jalan akan memudahkan pembangunan jalan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai persentase CBR, sehingga dengan nilai tersebut dapat dilakukan tindakan untuk membangun konstruksi jalan yang sesuai dengan kondisi tanah

setempat. Metode CBR (*California Bearing Ratio*) adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam uji geoteknik tanah untuk perencanaan jalan. Metode ini melibatkan pengujian laboratorium terhadap sampel tanah untuk menentukan rasio pemikul California (CBR). Hasil menunjukkan nilai CBR sebesar 22.5% yang termasuk kategori sangat baik. Hal ini menunjukkan bahwa konstruksi jalan raya daerah Jl. Panglima Besar Sudirman, Dsn. Bolawen Ds. Tiron Kec. Banyakan Kab. Kediri tidak perlu dilakukan upaya peningkatan, sehingga sumber daya dapat dialokasikan ke daerah lain yang membutuhkan perbaikan infrastruktur jalan raya untuk meningkatkan aksesibilitas dan pengembangan wilayah secara keseluruhan.

Kata kunci: Tanah lempung, Tanah dasar, Daya Dukung, CBR

1. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur merupakan salah satu indikator kemajuan suatu negara yang tidak dapat diabaikan. Pekerjaan infrastruktur meliputi berbagai elemen seperti jalan, jembatan, pelabuhan, bandara, jaringan listrik, sistem telekomunikasi, air bersih, sanitasi, serta fasilitas pendukung lainnya (Darwis & Mulyana, 2021). Infrastruktur jalan merupakan bagian penting dari sistem transportasi yang berperan dalam menghubungkan lokasi yang berbeda, memfasilitasi mobilitas manusia serta transportasi barang (Irwan et al., 2021). Pada pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur jalan tanah memiliki peran yang krusial, sehingga kondisi dan kekuatan tanah harus diperhatikan (Irwan et al., 2021) (Situmorang et al., 2021).

Tanah merupakan pemegang peranan penting dalam bidang konstruksi karena menjadi pondasi atau dasar dalam membangun sebuah bangunan (Abdulrahman et al., 2019) (Aprilia et al., 2016). Tanah lempung merupakan tanah lunak yang memiliki sifat yang dapat berubah kondisinya jika terkena air (Pranoto et al., 2021). Tanah merupakan material terdiri dari butiran padat, air dan udara, akan sangat berbeda sifat fisiknya (Hartono et al., 2018) (Putra et al., 2018). Desain, struktural, dan pemeliharaan jalan sangat dipengaruhi oleh beberapa karakteristik tanah seperti kemampuan pergerakan, stabilitas dan daya dukung tanah (Y. A. Setiawan & Alhuda, 2021). Tanah yang memiliki kekuatan yang cukup stabil untuk mendukung beban jalan akan memudahkan pembangunan jalan (A. Setiawan & Sugiyanto, 2021) (Ika Ernawati, 2015). Jika tanah memiliki kekuatan yang rendah, diperlukan teknik dan material tambahan seperti perkuatan atau penguatan untuk menjaga kestabilan jalan (Yogaswara, 2019) (Ika Ernawati, 2015). Kondisi tanah pada setiap daerah tentunya memiliki karakteristik yang berbeda-beda, sehingga perlu adanya pengujian stabilitas pada setiap daerah yang memiliki potensi untuk perkembangan konstruksi jalan (A. Setiawan & Sugiyanto, 2021).

Selama beberapa tahun terakhir, penelitian tentang stabilitas telah dilakukan di berbagai daerah di dunia untuk memenuhi kebutuhan pembangunan konstruksi jalan (Ramesh et al., 2019). Metode CBR (*California Bearing Ratio*) adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam uji geoteknik tanah untuk perencanaan jalan (Damayanti et al., 2020). Metode ini melibatkan pengujian laboratorium terhadap sampel tanah untuk menentukan rasio pemikul California (CBR) (Kodikara et al., 2018) (Situmorang et al., 2021). Penelitian ini mengukur resistansi tanah terhadap penetrasi alat uji standar pada kondisi tertentu (Ramadhan et al., 2020). Hasil CBR memberikan indikasi tentang kekuatan dan daya dukung tanah dalam mendukung lapisan jalan (Meisaroh et al., 2022). Informasi dari metode CBR (*California Bearing Ratio*) digunakan dalam perencanaan struktur jalan, termasuk pemilihan lapisan konstruksi dan ketebalan yang tepat (Putri et al., 2021). Penelitian terkait metode CBR (*California Bearing Ratio*) dapat membantu meningkatkan desain jalan dengan memahami karakteristik tanah secara lebih mendalam (Suhendik et al., 2022).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai persentase CBR, sehingga dengan nilai tersebut dapat dilakukan tindakan untuk membangun konstruksi jalan yang sesuai dengan kondisi tanah setempat (Ferdian et al., 2015) (Pranoto et al., 2021). Penelitian ini diharapkan dapat membangun jalan yang lebih kokoh, berkelanjutan, dan aman untuk mobilitas dan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi pengambilan dan persiapan sampel

Tanah diambil dari area Jl. Panglima Besar Sudirman, Dsn. Bulawen Ds. Tiron Kec. Banyakan Kab. Kediri. Tanah berwarna coklat gelap. Pengambilan sampel menggunakan cangkul pada kedalaman kurang lebih 1 meter. Tanah yang digunakan adalah tanah yang lolos ayakan no. 8.

Pembuatan sampel

Pengujian menggunakan tiga buah sampel. Tanah dicampur air dengan perbandingan 10% dari berat sampel benda uji. Setelah itu, sampel tanah tersebut dimasukkan kedalam plastik dan didiamkan selama 24 jam. Proses ini dilakukan untuk menciptakan kelembaban yang optimal dalam sampel tanah, yang penting untuk analisis lebih lanjut. Setelah pencampuran, tanah yang telah dicampur dengan air diaduk secara menyeluruh untuk memastikan distribusi air yang merata dalam sampel.

Setelah tahap persiapan tersebut, sampel tanah yang sudah siap digunakan dapat dimasukkan ke dalam cetakan silinder CBR berdiameter 15 cm dengan tinggi 17,5 cm. Proses pemadatan kemudian dilakukan dengan mengikuti prosedur dan metode yang telah ditentukan dalam standar pengujian CBR. Setiap lapisan tanah yang dimasukkan ke dalam cetakan harus dipadatkan dengan hati-hati menggunakan alat pemadatan hingga mencapai tingkat pemadatan yang diinginkan. Pemadatan dilakukan secara manual dengan variasi 10, 25, dan 65 tumbukan.

Proses Pengujian CBR

- a. **Persiapan sampel tanah:** Sampel tanah yang sudah disiapkan ditempatkan dalam cetakan uji CBR dengan lapisan pelapis di bagian bawah dan atas cetakan. Lapisan ini berfungsi untuk mengurangi gesekan antara sampel dan cetakan.
- b. **Pemadatan:** Sampel tanah dalam uji cetakan harus dipadatkan secara bertahap dengan menggunakan alat pemadat standar. Pemadatan dilakukan dalam beberapa lapisan dengan jumlah pukulan yang ditentukan.
- c. **Pengujian Penetrasi:** Setelah pemadatan, ujung penetrometer dilepas secara perlahan ke dalam sampel tanah. Beban diterapkan pada penetrometer untuk mengevaluasi ketahanan tanah terhadap penetrasi. Nilai beban dan penetrasi dicatat.
- d. **Perhitungan CBR:** Nilai CBR dihitung sebagai rasio antara beban yang diperlukan untuk mencapai penetrasi tertentu pada sampel tanah yang diuji dan beban yang diperlukan untuk mencapai penetrasi yang sama pada standar tanah padat. Hasil CBR dinyatakan sebagai proporsi.

Tabel 1. Kriteria CBR untuk Tanah Dasar jalan (Subgrade)

Section	Material	Nilai CBR (%)
Subgrade	Sangat Baik	20 - 30
	Baik	10 - 20
	Sedang	5 - 10
	Buruk	< 5

Sumber : Turbull 1968 dalam Raharjo 1985

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

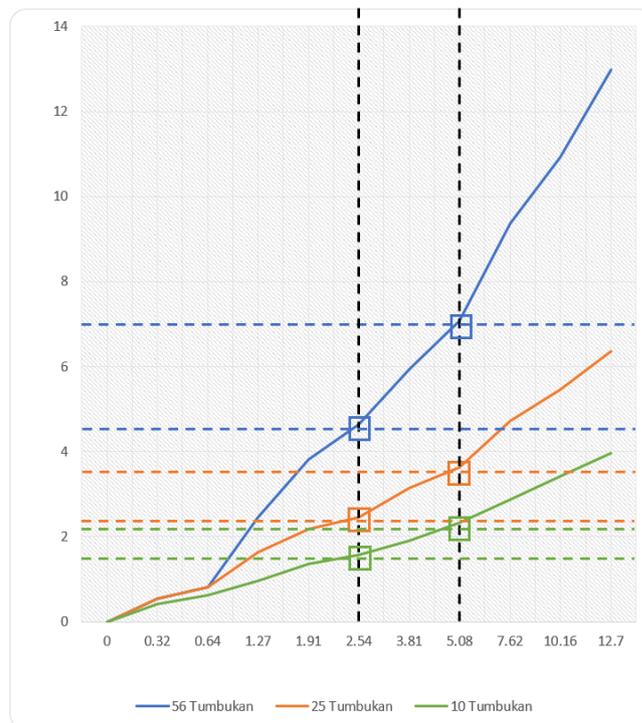
Tabel 2. Hasil Pengujian Densitas Kering

Uraian	Tumbukan 56	Tumbukan 25	Tumbukan 10
Massa benda uji + cetakan (g)	7380	7100	7080
Massa cetakan (g)	4290	4290	4290
Massa benda uji basah (g)	3090	2810	2790
Isi cetakan (cm ³)	3091	3091	3091
Densitas basah (g/cm ³)	1.00	0.91	0.90
Densitas kering (g/cm ³)	0.87	0.79	0.78
Massa benda uji kering (g)	3140	2669	2183

Dari tabel 2. Diperoleh nilai densitas kering optimum pada 10 tumbukan sebesar $0.78g/cm^3$, 25 tumbukan sebesar $0.79g/cm^3$, 56 tumbukan sebesar $0.87g/cm^3$. Hasil densitas kering optimum pertumbuhan dipengaruhi oleh banyaknya tumbukan yang dilakukan pada benda uji dan juga kadar air pada benda uji.

Tabel 3. Hasil beban penetrasi dengan nilai kalibrasi proving ring (k) = 0.136593.

Waktu	Penetrasi (mm)	Tumbukan 56		Tumbukan 25		Tumbukan 10	
		Pembacaan Arloji Ukur Beban	Beban Penetrasi (kn)	Pembacaan Arloji Ukur Beban	Beban Penetrasi (kn)	Pembacaan Arloji Ukur Beban	Beban Penetrasi (kn)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.32	4	0.546	4	0.546	3	0.410
0.5	0.64	6	0.820	6	0.820	4.5	0.615
1	1.27	18	2.459	12	1.639	7	0.956
1.5	1.91	28	3.825	16	2.185	10	1.366
2	2.54	34	4.644	18	2.459	11.5	1.571
3	3.81	43.5	5.942	23	3.142	14	1.912
4	5.08	51.8	7.076	26.5	3.620	17	2.322
6	7.62	68.5	9.357	34.5	4.712	21	2.868
8	10.16	80	10.927	40	5.464	25	3.415
10	12.7	95	12.976	46.5	6.352	29	3.961



Gambar 1. Hasil beban penetrasi dengan nilai kalibrasi proving ring (k) = 0.136593.

Dari tabel 3, dan analisis grafik pada gambar 1. Diketahui nilai penetrasi pada masing - masing tumbukan. Pada penetrasi 2,54 mm pada tumbukan 56 didapat nilai beban penetrasi sebesar 4,644 kn, pada tumbukan 25 didapat beban penetrasi sebesar 2.459 kn, dan pada tumbukan 10 didapat beban penetrasi sebesar 1.571 kn. Sedangkan pada penetrasi 5,08 mm pada tumbukan 56 didapat nilai beban penetrasi sebesar 7.076 kn, pada tumbukan 25 didapat nilai beban penetrasi sebesar 3.620 kn, dan pada tumbukan 10 didapat beban penetrasi sebesar 2.322 kn.

Tabel 4. Hasil Pengujian Persentase CBR.

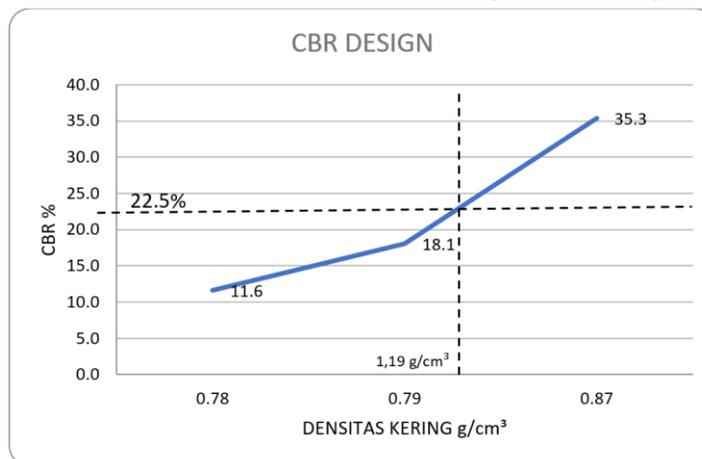
Nilai CBR, %		
Tumbukan 56	Tumbukan 25	Tumbukan 10
2,54 mm	2,54 mm	2,54 mm
34.788 %	18.417 %	11.766 %
5,08 mm	5,08 mm	5,08 mm
35.342 %	18.080 %	11.599 %

Dari tabel 3. Dapat diketahui nilai persentase CBR pada masing masing variasi yang ditinjau dari tingkat penetrasi 2,54 dan 5,08 mm. Dari 2 tingkat penetrasi tersebut diketahui persentase nilai CBR yang tertinggi pada tumbukan 56 sebesar 35,342% terjadi pada penetrasi 5,08 mm, pada tumbukan 25 diperoleh nilai sebesar 18,417 % terjadi pada penetrasi 2,54 mm, dan pada tumbukan 10 diperoleh nilai sebesar 11,766 % terjadi pada penetrasi 2,54 mm.

Tabel 5. Hasil uji CBR desain

Jumlah Tumbukan	CBR (%)	Densitas Kering (g/cm^3)
56	35.342	0.87
25	18.080	0.79
10	11.599	0.78

Berdasarkan tabel 4. Didapatkan nilai CBR dan Densitas Kering dari masing masing benda uji. Benda uji dengan 10 tumbukan diperoleh nilai CBR sebesar 11.6% dan nilai densitas kering sebesar $0.78 g/cm^3$. Benda uji dengan 30 tumbukan diperoleh nilai CBR sebesar 18.1% dan nilai densitas kering sebesar $0.79 g/cm^3$. Benda uji dengan 65 tumbukan diperoleh nilai CBR sebesar 35.3% dan nilai densitas kering sebesar $0.87 g/cm^3$.



Gambar 1. Grafik nilai CBR desain.

Dari Uji Laboratorium didapat Nilai CBR: 22.5 %, termasuk Kategori “Sangat Baik” untuk Lapisan Tanah Dasar (Subgrade), mengacu Tabel 1. Kriteria CBR untuk Tanah Dasar jalan (Subgrade).

Pada perhitungan nilai ratio CBR subgrade di atas digunakan nilai CBR terbesar dari ke 3 sampel uji. Pengambilan nilai tersebut dengan asumsi bahwa saat terjadinya hujan atau genangan air hujan, akan menyebabkan lapisan tanah dasar terendam oleh air sehingga daya dukung tanah dasar akan terjadi penurunan nilai. Jika nilai CBR besar akan menghasilkan lapis tebal perkerasan semakin tipis lapisan perkerasan juga untuk menghemat biaya perkerasan jalan. Sebagaimana diketahui bahwa dalam merencanakan tebal perkerasan jalan raya semakin besar nilai CBR yang digunakan semakin tipis tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan, sebaliknya semakin kecil nilai CBR yang digunakan semakin besar (tebal) lapisan perkerasan yang dibutuhkan. Pada tabel di atas juga terlihat bahwa nilai CBR terbesar unsoaked hampir mencapai nilai CBR maksimal yaitu 94,30% ($CBR_{max} = 100\%$).

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dengan pengujian di laboratorium dapat diketahui bahwa nilai CBR untuk tanah di Jl. Panglima Besar Sudirman, Dsn. Bolawen Ds. Tiron Kec. Banyakan Kab. Kediri sebesar 22.5% yang termasuk kategori sangat

baik. Hal ini menunjukkan bahwa konstruksi jalan raya daerah Jl. Panglima Besar Sudirman, Dsn. Bolawen Ds. Tiron Kec. Banyakan Kab. Kediri tidak perlu dilakukan upaya peningkatan, sehingga sumber daya dapat dialokasikan ke daerah lain yang membutuhkan perbaikan infrastruktur jalan raya untuk meningkatkan aksesibilitas dan pengembangan wilayah secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrahman, A., Purwanto, S., & Ismail. (2019). ANALISA PERHITUNGAN DAYA DUKUNG TANAH (CBR) ATAS CAMPURAN TANAH DAN S BASE 07 LIQUID SOIL STABILIZER. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*, 9(2), 115–124. <https://doi.org/ISSN.2089-2942>
- Aprilia, A. W., Zakaria, Y., & Rachmansyah, A. (2016). PENGARUH PENAMBAHAN ABU AMPAS TEBU DAN SERBUK GYPSUM TERHADAP KARAKTERISTIK TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI BOJONEGORO. 1–23.
- Damayanti, A. N., Adha, I., & Zakaria, A. (2020). *Komparasi Kadar Daya Dukung Tanah Berbutir Halus Berdasarkan Uji CBR Menggunakan Alat Tekan Modifikasi dan Modified Proctor*. 8(4), 821–830.
- Darwis, F., & Mulyana, E. R. (2021). Analisis Daya Dukung Tanah Dasar Cbr Lapisan Atas Jalan. *Journal of Science and Engineering*, 4(2), 97–105. <https://doi.org/ISSN 2621-3435>
- Ferdian, F., Jafri, M., & Iswan. (2015). 433-804-1-Pb. *Jrsdd*, 3(1), 145–156.
- Hartono, H., Suparman, S., Wahjoedi, W., & ... (2018). Kajian Eksperimental Dalam Upaya Meningkatkan Nilai Daya Dukung Lempung Merah Melalui Uji CBR. *Bangun Rekaprima ...*, 04, 12–22. https://jurnal.polines.ac.id/index.php/bangun_rekaprima/article/view/1115
- Ika Ernawati, W. D., A. M., (2015). Optimasi Kadar Aspal pada Stabilisasi Tanah Pasir Menggunakan Aspal dengan Uji CBR. *Semesta Teknika*, 14(2), 127–132. <https://doi.org/10.18196/st.v14i2.541>
- Irwan, D., Putra, A. Dasa, Syah, A., & Iswan. (2021). Hubungan Pengujian Cbr Metode Tumbukan Dengan Alat Uji Cbr Metode Tekanan Berdasarkan Uji Pemadatan Standard. *JRSDD : JOURNAL REKAYASA SIPI DAN DESAIN (JRSDD)*, 9(3), 571–580. <https://doi.org/ISSN:2715-0690>
- Kodikara, J., Islam, T., & Sountharajah, A. (2018). Review of soil compaction: History and recent developments. *Transportation Geotechnics*, 17(September), 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.09.006>
- Meisaroh, M., Sulistio, R., & Kusumah, H. (2022). *Perbandingan Uji California Bearing Ratio (CBR) Lapangan dan Laboratorium pada Jalan Masuk Masjid Yayasan Cinta Dakwah*.
- Pranoto, H., Mustofa, A., & Kartini, K. (2021). Aspek geoteknik pemanfaatan lempung kaolin sebagai material lapis badan jalan tambang Kabupaten Banjar. *Jurnal Himasapta*, 6(2), 85. <https://doi.org/10.20527/jhs.v6i2.3964>
- Putra, R. H., Haza, Z. F., & Sulityorini, D. (2018). Pengaruh pasir terhadap tingkat kepadatan tanah lempung ekspansif. *RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, 3(2), 21–32. <https://jurnal.ustjogja.ac.id/index.php/renovasi/article/view/2994>
- Putri, A. M. W. E., Wulandari, S., & Ellysa. (2021). Pengaruh Fraksi Tanah Dan Mineral Tanah Lempung. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(3), 187–196.
- Ramadhan, M., Tri Utomo, S., & Suparma, L. (2020). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Semen Dan Aspal Emulsi Terhadap Subgrade Perkerasan Jalan. *Teknisia*, XXV(1), 1–10. <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol25.iss1.art1>
- Ramesh, A., Nageshwar Rao, C., & Kumar, M. (2019). Experimental study on geocell and of fibre reinforced soil sub-grade under static and repetitive load. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 29). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6713-7_11
- Setiawan, A., & Sugiyanto, S. (2021). Studi Analisis Proyek Jalan Sidoharjo Kecamatan Senori Tuban Dengan Metode Analisis Komponen Skbi-2.3.26.1987. *Rang Teknik Journal*, 4(2), 260–275. <https://doi.org/10.31869/rtj.v4i2.2395>
- Setiawan, Y. A., & Alhuda, A. (2021). Perbaikan Struktur Perkerasan Jalan Dengan Menggunakan Geotextile Ruas Jalan Ngawi-Caruban. *Seminar Keinsinyuran*, 808–816. <https://doi.org/https://doi.org/10.22219/skpsppi.v2i1.4386>
- Situmorang, A. P. P., Hendri, O., Teknik, F., Raya, U. P., Raya, P., Ratio, C. B., & Air, K. (2021). Korelasi Nilai Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Dengan Nilai California Bearing Ratio (Cbr) Correlation of the Value of Unconfined Compressive Strength With California Bearing Ration (Cbr) Value of Clay Soil. *Transukma*, 4(1), 53–60.
- Suhendik, A. A., Oktaviani, R., & Trides, T. (2022). Studi Perbaikan Perkerasan Lapis Jalan Tambang dengan Nilai CBR dan DCP. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 75–83. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i1.1019>
- Yogaswara, D. (2019). Analisis Terowongan Jalan Raya Dengan Proteksi Umbrella Grouting Menggunakan Metode Elemen Hingga 2D Kasus Studi Tol Cismudawu. *Jurnal Sains Dan Teknologi ISTP*, 11(02), 137–147.