

# STABILISASI TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN LIMBAH KARBIT DAN *SILICA FUME* TERHADAP *SUBGRADE* PERKERASAN JALAN

Muhammad Furqan<sup>1</sup>, Prof. Ir. Suryo Hapsoro Tri Utomo, Ph.D.<sup>2</sup>, Ir. Latif Budi Suparma, M.Sc., Ph.D.<sup>3</sup>  
Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.  
*muhammadfurqan@ugm.ac.id<sup>1</sup>, suryohapsoro@ugm.ac.id<sup>2</sup>, lbsuparma@ugm.ac.id<sup>3</sup>*

## Abstrak

Tanah dasar (*subgrade*) adalah bagian bawah lapisan perkerasan yang akan menerima beban sampai batas-batas yang mampu dipikulnya. Kekuatan struktur perkerasan sangat bergantung pada kondisi kuat dukung tanah. Kuat dukung tanah yang rendah dapat dilakukan berbagai macam stabilisasi salah satunya dengan bahan tambah. Pada penelitian ini dilakukan penambahan bahan kimia berupa limbah karbit dan *silica fume* sebagai bahan stabilitas perkerasan. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik, pengaruh terhadap nilai CBR dan *swelling*, serta untuk mendapat kadar terbaik dari campuran limbah karbit dan *silica fume* sebagai lapisan tanah dasar untuk konstruksi jalan. Variasi campuran yang dipakai yaitu 3%, 7%, 11% dan 15%. Hasilnya untuk nilai CBR setelah diperam selama 7 hari pada kondisi *unsoaked* didapatkan hasil berturut-turut sebesar 19,33%, 23,81%, 24,24%, dan 36,15%. Pada CBR *soaked* didapatkan hasil sebesar 6,17%, 10,42%, 21,69% dan 33,17%. Untuk nilai *swelling* sebesar 2,81%, 2%, 0,17% dan 0%. Maka dari itu, untuk kondisi limbah terbaik pada 15% limbah karbit + 8% *silica fume* dimana perlu dilakukan pemeraman terlebih dahulu agar proses pengikatan antara butiran lebih sempurna.

**Kata Kunci:** Stabilisasi Tanah, Limbah Karbit, *Silica Fume*, CBR, *Swelling*.

Abstract 11 pt

*The ground (subgrade) is the bottom of the pavement layer that will receive the load to the limits it is capable of carrying. The strength of the pavement structure depends heavily on the strong conditions supporting the soil. Strong low soil support can be done a variety of stabilization one of them with added materials. In this study, the addition of chemicals in the form of carbit waste and silica fume as a pavement stability material. The purpose of this study was to analyze the characteristics, influences on CBR and swelling values, as well as to get the best levels of the mixture of carbit waste and silica fume as the basic soil layer for road construction. The variety of mixtures used is 3%, 7%, 11% and 15%. The results for CBR values after being immersed for 7 days in unsoaked conditions were obtained consecutive results of 19.33%, 23.81%, 24.24%, and 36.15%. In CBR soaked obtained results of 6.17%, 10.42%, 21.69% and 33.17%. For swelling values of 2.81%, 2%, 0.17% and 0%. Therefore, for the best waste conditions at 15% of carbit waste + 8% silica fume where it is necessary to do watering first so that the binding process between granules is more perfect.*

**Keywords:** Soil Stabilization, Carbit Waste, Silica Fume, CBR, Swelling.

## 1. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Ukuran Pekerjaan teknik sipil tidak terlepas dari tanah sebagai dasar struktur, terutama pada pekerjaan jalan. Konstruksi pekerjaan jalan terdiri dari beberapa lapisan salah satunya yaitu tanah dasar (*subgrade*). Kekuatan struktur perkerasan sangat bergantung pada kondisi tanah dasar. Apabila jalan dibangun di atas tanah yang memiliki sifat-sifat geoteknik yang baik, maka kerusakan jalan tersebut dapat dihindarkan. Akan tetapi, apabila jalan dibangun di atas tanah yang memiliki sifat-sifat geoteknik yang buruk, misalnya kuat dukung tanah rendah, pemampatan tinggi, kembang susut tinggi, maka potensi kerusakan jalan akan

mudah terjadi, contohnya pada tanah lempung ekspansif.

Stabilisasi tanah dalam pembangunan perkerasan jalan didefinisikan sebagai perbaikan material lokal yang ada dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan tambah ke dalam tanah. Pada umumnya dibagi menjadi stabilisasi mekanis dan stabilisasi dengan bahan tambah.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Al-Huda dan Gunawan (2013) penggunaan limbah karbit mampu menaikkan nilai CBR baik *unsoaked* maupun *soaked*.

Pada penelitian ini dilakukan stabilisasi tanah menggunakan bahan tambah limbah karbit dan *silica fume*. Limbah karbit merupakan residu dari proses penyambungan logam dengan

logam (pengelasan) yang menggunakan gas karbit sebagai bahan bakar. Sedangkan *Silica fume* adalah material pozzolan yang halus, komposisi *silica* yang lebih banyak dihasilkan dari sisa produksi *silicon* atau *alloy* besi *silicon*.

#### B. Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana karakteristik sampel tanah asli dan apakah dapat distabilisasi untuk digunakan sebagai tanah dasar konstruksi jalan?
- 2) Bagaimana pengaruh campuran limbah karbit dan *silica fume* pada tanah asli terhadap nilai CBR dan pengembangan tanah?
- 3) Berapa kadar terbaik campuran limbah karbit dan *silica fume* yang dapat digunakan pada tanah dasar konstruksi jalan?

#### C. Tujuan Penelitian

- 1) Menganalisis karakteristik dan mineralogi tanah asli yang akan distabilisasi menggunakan limbah karbit dan *silica fume* sebagai tanah dasar (*subgrade*).
- 2) Menganalisis pengaruh campuran variasi kadar limbah karbit dan *silica fume* dengan tanah asli terhadap nilai CBR dan pengembangan tanah (*swelling*)
- 3) Mendapatkan kadar terbaik limbah karbit dan *silica fume* sebagai lapisan tanah dasar untuk konstruksi jalan.

#### D. Batasan Penelitian

- 1) Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah asli dari Kapanewon Sentolo, Kabupaten Kulonprogo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- 2) Limbah karbit menggunakan variasi campuran 3%, 7%, 11%, 15 %
- 3) *Silica fume* menggunakan campuran 8%
- 4) Pemadatan tanah dilakukan dengan *standard proctor*
- 5) Pengujian utama hanya melakukan uji CBR dan *swelling*
- 6) Waktu pemeraman tanah
  - a. Benda uji CBR tanah asli : 0 hari (tanpa pemeraman)

- b. Benda uji CBR campuran tanah + Limbah karbit + *Silica fume* :
  - i. CBR soaked (perendaman 4 hari).
  - ii. CBR unsoaked (Tanpa perendaman).

## 2. METODE

### A. Metodologi

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental laboratorium faktor desain. Kemudian hasil dari penelitian akan dievaluasi lebih lanjut untuk mengetahui faktor yang menyebabkan perbedaan secara signifikan pada benda uji.

### B. Lokasi Penelitian

Penelitian utama dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada. Penelitian Komposisi Mineral tanah dilakukan di Laboratorium Geologi Universitas Gadjah Mada.

### C. Bahan Penelitian

- 1) Sampel tanah asli yang berasal dari daerah Kapanewon Sentolo, Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- 2) Limbah karbit yang digunakan memiliki kadar CaO, limbah karbit diperoleh di daerah Yogyakarta dan sekitarnya.
- 3) *Silica fume* yang digunakan diambil dari wilayah Yogyakarta.
- 4) Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air bersih yang ada di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

### D. Pengujian

- 1) *Karakteristik tanah asli*
- 2) *Mineralogi tanah*
- 3) *X-Ray Diffraction*
- 4) *X-Ray Fluorescence*
- 5) *Standar proktor*
- 6) *CBR dan swelling*

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Karakteristik Tanah

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik tanah asli untuk mengetahui karakteristik dan distribusi ukuran butiran tanah asli yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah asli adalah sebagai berikut pada Tabel 1 dibawah ini :

**Tabel 1.** Hasil Karakteristik Tanah Asli.

Pengujian	Hasil
<i>Spesific Gravity</i> (Gs)	2,62
Kadar air optimum ( $w_{opt}$ )	28,25%
Berat volume kering tanah maksimum ( $\gamma_{dmaks}$ )	1,193 gr/cm <sup>3</sup>
Batas cair ( <i>Liquid Limit</i> ), LL	75,03%
Batas plastis ( <i>Plastic Limit</i> ), PL	36,47%
Indeks plastisitas ( <i>Plasticity Index</i> ), PI = LL – PL	38,56%
Batas susut ( <i>Shrinkage Limit</i> ), SL	22,66%
CBR Unsoaked	5,32%
CBR Soaked	1,28%
Swelling	6,5%

Berdasarkan hasil pemeriksaan distribusi ukuran butiran tanah diketahui bahwa jumlah fraksi yang lolos saringan No. 200 yaitu sebesar 93,60%. Berdasarkan kriteria AASHTO, jika fraksi yang lolos saringan No.200 lebih besar dari 35% maka fraksi tanah tersebut termasuk dalam golongan jenis tanah lanau atau lempung.

Berdasarkan nilai batas cair (*liquid limit*) tanah asli dari pengujian batas-batas *Atterberg* yaitu 75,03%. Kriteria yang sesuai dengan hasil tersebut adalah klasifikasi tanah A-5 dan A-7 (A-7-5 atau A-7-6). Dimana nilai batas cair yang disyaratkan yaitu minimal 41%.

Berdasarkan nilai indeks plastisitas (*plasticity index*) tanah asli dari pengujian batas-batas *Atterberg* yaitu 38,56%. Kriteria yang sesuai dengan hasil tersebut adalah klasifikasi tanah A-7 (A-7-5 atau A-7-6) yaitu dengan indeks plastisitas yang disyaratkan minimal 10%.

Berdasarkan nilai batas plastis (*plastic limit*) tanah asli dari pengujian batas-batas *Atterberg* yaitu 36,47%. Kriteria yang sesuai dengan hasil tersebut adalah klasifikasi tanah A-7-5 yaitu dengan batas plastis yang disyaratkan minimal 30%.

Pemeriksaan selanjutnya adalah nilai indeks kelompok (GI) dimana nilai GI yang didapatkan sebesar 46.18. Berdasarkan kriteria klasifikasi tanah A-7, nilai GI maksimum adalah 20. Hal tersebut berarti tanah asli tersebut semakin berkurang ketepatan penggunaannya atau dengan kata lain tanah tersebut memiliki kualitas yang buruk.

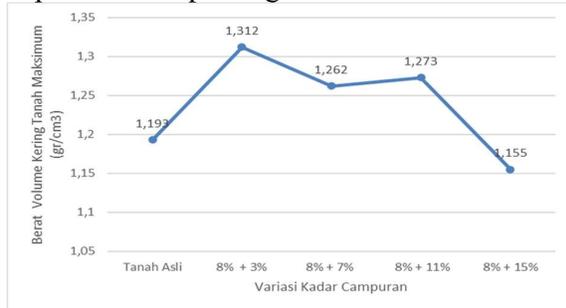
Berdasarkan pengujian difraksi sinar – X pada tanah di daerah Kapanewon Sentolo, Kabupaten Kulonprogo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta menunjukkan sampel tanah asli mengandung mineral *smectite* (73,25%), *halloysite* (23,25%), dan *plagioklas* (3,505%).

Berdasarkan pengujian fluoresensi sinar– X pada tanah di daerah Kapanewon Sentolo, Kabupaten Kulonprogo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta menunjukkan sampel tanah asli mengandung unsur *Siliconoxide* (SiO<sub>2</sub>) sebanyak 45,22% kadar kandungan, *Aluminumoxide* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebanyak 20,85% kadar kandungan, dan unsur lainnya sebanyak 33,93% kadar kandungan seperti *Calciumoxide* (CaO) sebanyak 3,059% kadar kandungan, *Magnesiumoxide* (MgO) sebanyak 0,8412% kadar kandungan, dan *Potassiumoxide* (K<sub>2</sub>O) sebanyak 0,2489% kadar kandungan.

#### B. Hasil pengujian standar proctor

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan *standard proctor* diketahui bahwa penambahan limbah karbit pada tanah dapat meningkatkan nilai berat volume kering tanah maksimum campuran terhadap nilai berat volume kering maksimum tanah asli pada setiap variasi campuran tanah dengan karbit. Peningkatan terbesar pada variasi kadar karbit sebesar 3% dengan nilai  $\gamma_{dmaks}$  sebesar 1,312 gr/cm<sup>3</sup>

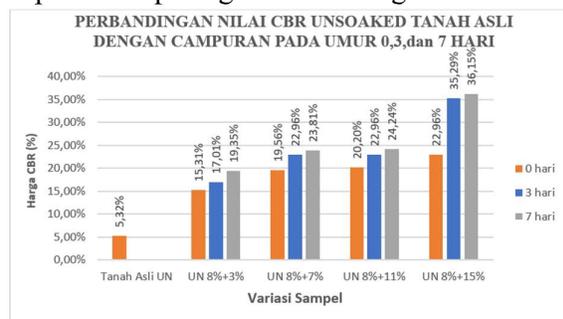
dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Grafik Nilai Standard Proctor

### C. Hasil pengujian CBR

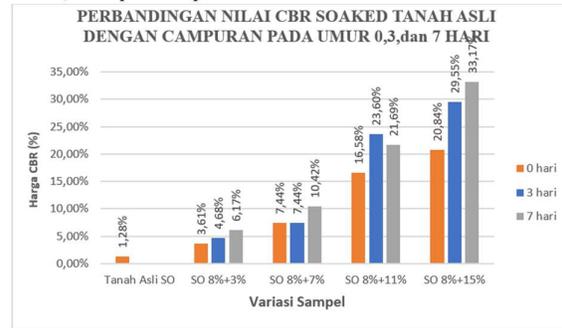
Pengujian CBR bertujuan untuk mendapatkan nilai CBR yang dapat menunjukkan kekuatan tanah dasar sebagai landasan perkerasan jalan. Pengujian CBR pada variasi limbah karbit dan silica fume dilakukan pada kondisi soaked dan unsoaked dengan perlakuan pemeraman 0 hari, 3 hari, dan 7 hari. Hasil pengujian CBR untuk kondisi *unsoaked* dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut :



Gambar 2. Grafik nilai CBR Unsoaked.

Diketahui variasi penambahan kadar limbah karbit sebanyak 3%, 7%, 11%, dan 15% terhadap campuran tanah dengan pemeraman selama 7 hari didapatkan nilai berturut-turut sebesar 19,33%, 23,81%, 24,24%, dan 36,15%.

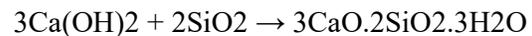
Hasil pengujian CBR untuk kondisi *soaked* dapat dilihat pada gambar 3 sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik nilai CBR Soaked.

Nilai CBR dengan rendaman pada variasi 3% dengan umur rendaman 7 hari sebesar 6,17%, pada 7% sebesar 10,42%, pada variasi 11% sebesar 21,69%, dan pada variasi 15% sebesar 33,17%.

Campuran limbah karbit dapat menaikkan nilai CBR dikarenakan pada campuran tersebut memiliki kandungan silika dan alumni yang disebut juga pozzolan. Apabila pozzolan bereaksi dengan air akan menghasilkan senyawa  $Ca(OH)_2$  yang bersifat semen. Kemudian senyawa ini akan bereaksi dengan *silica fume* menghasilkan reaksi sebagai berikut :

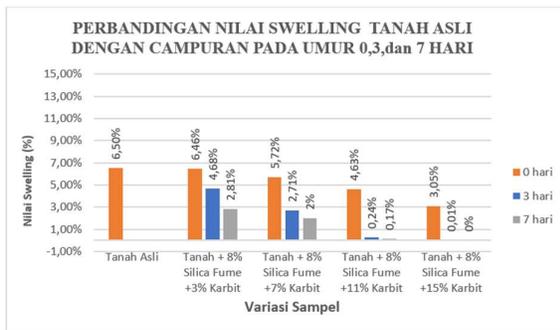


Nilai CBR *soaked* lebih rendah dibandingkan CBR *unsoaked*. Hal ini dikarenakan kekuatan campuran tanah lempung dengan limbah karbit minimum akan tercapai bila campuran pada kondisi jenuh air. Pada CBR *soaked* menyebabkan kondisi campuran tanah lempung dengan limbah karbit terlalu basah, sehingga proses sementasi tidak terjadi secara maksimal dan kemampuan saling mengunci antar butiran rendah.

### D. Hasil nilai swelling

Pengujian swelling pada variasi campuran tanah dengan limbah karbit dimaksudkan untuk mengetahui perubahan volume yang terjadi saat benda uji direndam air selama 4 hari. Pengujian ini sejalan dengan hasil pengujian CBR soaked baik dengan perlakuan tanpa pemeraman, pemeraman 3 hari, maupun pemeraman 7 hari. Hasil pengujian potensi pengembangan

(swelling) dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4. Grafik hasil uji swelling.

Nilai swelling pada perendaman di hari ke-7 sebesar untuk penambahan limbah karbit sebanyak 3% dan *silica fume* sebanyak 8% sebesar 2,81%. Untuk campuran 7% + 8% sebesar 2%. Untuk campuran 11% + 8% sebesar 0,17%. Untuk campuran 15% + 8% sebesar 0%.

Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan limbah karbit pada tanah lempung mengakibatkan turunnya nilai swelling tanah dan waktu pengembangan semakin singkat.

#### E. Penentuan kadar terbaik limbah karbit

Berdasarkan pada pengujian pemadatan, CBR, dan swelling tanah, maka dapat disimpulkan bahwa kadar terbaik limbah karbit sebagai bahan stabilisasi tanah lempung terdapat pada variasi penambahan 15% limbah karbit. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah limbah karbit yang digunakan maka akan memberikan sifat kekakuan yang lebih baik.

Namun, pada variasi penambahan 15% limbah karbit harus dilakukan pemeraman terlebih dahulu. Hal itu disebabkan karena pada saat proses pemeraman terjadi maka akan memberikan waktu agar pengikatan antara limbah karbit dan tanah menjadi lebih sempurna sehingga dapat menghasilkan nilai CBR yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang tanpa pemeraman. Nilai CBR yang digunakan adalah nilai CBR *soaked* karena kondisi tersebut mewakili kondisi jalan terjelek di lapangan. Persyaratan teknis tanah dasar

berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 menyatakan bahwa persyaratan nilai CBR tanah dasar sesuai dengan pengujian CBR Laboratorium berdasarkan SNI 03-1744-1989 adalah memiliki nilai minimal 6% setelah direndam 4 hari Dengan demikian, nilai CBR pada variasi penambahan 15% limbah karbit telah memenuhi persyaratan *subgrade* perkerasan jalan.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

- 1) Berdasarkan pengujian difraksi sinar – X pada tanah di daerah Kapanewon Sentolo, Kabupaten Kulonprogo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta menunjukkan sampel tanah asli mengandung mineral *smectite* (73,25%), *halloysite* (23,25%), dan *plagioklas* (3,505%). Berdasarkan pengujian fluoresensi sinar – X menunjukkan sampel tanah asli mengandung unsur *Siliconoxide* (SiO<sub>2</sub>) sebanyak 45,22% kadar kandungan, *Aluminumoxide* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebanyak 20,85% kadar kandungan, dan unsur lainnya sebanyak 33,93% kadar kandungan seperti *calciumoxide* (CaO) sebanyak 3,059% kadar kandungan, *magnesiumoxide* (MgO) sebanyak 0,8412% kadar kandungan, dan *potassiumoxide* (K<sub>2</sub>O) sebanyak 0,2489% kadar kandungan. Berdasarkan kandungan yang terdapat pada tanah asli tersebut, maka dapat dilakukan stabilisasi dengan bahan tambah.
- 2) Penambahan variasi kadar limbah karbit dapat meningkatkan nilai CBR tanah asli, baik pada kondisi tanpa pemeraman, dengan pemeraman 3 hari, dan dengan pemeraman 7 hari. Tetapi, nilai pada CBR dengan perendaman lebih kecil dibandingkan dengan nilai CBR tanpa perendaman.
- 3) Berdasarkan pada pengujian pemadatan, CBR, dan swelling tanah, maka dapat disimpulkan bahwa kadar terbaik limbah karbit sebagai bahan stabilisasi tanah lempung terdapat pada variasi penambahan 15% limbah karbit. Nilai CBR yang

digunakan adalah nilai CBR soaked karena kondisi tersebut mewakili kondisi jalan terjelek di lapangan. Persyaratan teknis tanah dasar berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 menyatakan bahwa persyaratan nilai CBR tanah dasar sesuai dengan pengujian CBR Laboratorium berdasarkan SNI 03-1744-1989 adalah memiliki nilai minimal 6% setelah direndam 4 hari. Dengan demikian, nilai CBR pada variasi penambahan 15% limbah karbit telah memenuhi persyaratan subgrade perkerasan jalan.

#### B. Saran

- 1) Perlu dilakukan pengujian dengan kadar Limbah karbit dan *Silica fume* dengan variasi pemeraman campuran tanah yang lebih variatif sehingga dihasilkan nilai CBR yang terbaik untuk persyaratan konstruksi jalan.
- 2) Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan bahan stabilisasi lainnya yang dapat meningkatkan nilai CBR tanah.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Tim *Jurnal Teknik Sipil dan Aplikasi (TekLA)* yang telah meluangkan waktu untuk membuat template ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al-Huda dan Gunawan (2013) “Pemanfaatan Limbah karbit Untuk Meningkatkan Nilai Cbr Tanah Lempung Desa Cot Seunong” Surakarta, Universitas Sebelas Maret.
- [2] ASTM.C,1240,1995: 637-642, “Specification for Silica fume for Use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar”.
- [3] Bowles, J.E., 1991. “Physical and Geotechnical Properties of Soil”, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta
- [4] Darwis. 2017. Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah. Erlangga, Jakarta
- [5] Fansuri,H., (2010), Modul Pelatihan Operasional XRF. Laboratorium Energi dan Rekayasa, LPPMS ITS. Surabaya
- [6] Fauzan dan andajani (2017) “Pengaruh Penambahan Limbah karbit Terhadap Daya Dukung Pondasidangkal Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Driyorejo Gresik “. Rekayasa Teknik Sipil Vol. 01
- [7] Hardiyatmo, H.C., 2012. Mekanika Tanah 1. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- [8] Hardiyatmo, H.C., 2014. Tanah Ekspansif, Permasalahan dan Penanganan. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- [9] Hardiyatmo, H.C., 2017. Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- [10] Hendrawati, N., Rahmayanti, E. D., & Priapnasar, E. D. (2018). Study Pembuatan Durable Cement dengan Penambahan Pozzolan Silica Fume. Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan,
- [11] Mayhutomo, Setiawan, dan Djarwanti (2018). “PENGARUH KOLOM KARBIT SEBAGAI PERBAIKAN TANAH DASAR EKSPANSIF DENGAN PENGALIRAN DARI TANAH KE KOLOM”. Universitas Sebelas Maret. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil.
- [12] Nagalaksana, M.S.T dan Kurniajje, C.S (2013).” Pemanfaatan abu sekam padi dengan treatment hcl sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton”. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Program Studi Teknik Sipil UK Petra, 2013
- [13] Novita, S., Rofaidah, S., dan Asro, M., (2010). “Analisa Stabilisasi Tanah Lempung Organik Dengan Limbah karbit Untuk Subgrade Pada Jalan”. Politeknik Negeri Sriwijaya, www.digilib.polsri.ac.id.
- [14] Petry, T.M., and Little, D.N., 2002, Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavements and Lightly Loaded Structures—History, Practice, and Future,

- Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 14(6), 447–460.
- [15] Resmawan (2016) “Pengaruh Campuran Pasir Dan Limbah karbit Terhadap Parametepenurunan Tanah Lempung Menggunakan Uji Cbr Dan Konsolidasi Dengan Pemadatan Laboratorium”. Yogyakarta, Universitas Negri Yogyakarta
- [16] Ridwan dan Fauziah (2017) “Pengaruh Penambahan Limbah karbit Terhadap Potensial Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Driyorejo Gresik “. Rekayasa Teknik Sipil Vol. 01
- [17] Silitonga, E. 2017. Pengaruh Penambahan Silica fume Pada Karakteristik Geoteknik Dan Kimia Dari Limbah Pelabuhan Dalam Penggunaannya Pada Pekerjaan Pembangunan Jalan. Educational Building, 3(1), 15–21.
- [18] Shafiqu, Q. S. M., Ali, A. S., & Al-hassany, H. N. A. 2015. Enhancement of Expansive Soil Properties Using Lime Silica-Fume Mixture, 6(10), 1239– 1257.
- [19] Tobing, B.C.L., Suroso, Zaika, Y., 2014. Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif di Bojonegoro dengan Campuran 15% Fly Ash. Jurnal Universitas Brawijaya. Volume 1(2).