

ANALISIS STABILISASI DAYA DUKUNG TANAH DASAR MENGUNAKAN CAMPURAN ARANG KAYU DAN SULFUR (STUDI KASUS PADA TANAH LEMPUNG BERPASIR)

Yusuf Amran¹, Agung Prasetyo²

Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro^{1,2}
E-mail : yusufamran307@gmail.com¹, agung00972@gmail.com²

ABSTRAK

Perubahan bentuk tetap dari jenis tanah tertentu akibat beban muatan (beban siklik/berulang). Perubahan bentuk yang besar akan mengakibatkan kontruksi perkerasan tersebut rusak. Lapisan-lapisan tanah lunak yang terdapat dibawah tanah dasar harus diperhatikan, tanah dasar yang mempunyai kekuatan dan volume yang rendah akan mengakibatkan perkerasan mudah mengalami deformasi dan retak, oleh sebab itu tanah dasar yang akan digunakan untuk kontruksi perkerasan perlu distabilisasikan agar daya dukung tanah tersebut menjadi sesuai dengan kebutuhan.

Bahan arang kayu berfungsi untuk penyerapan air karena bubuk arang kayu mengandung unsur kima antara lain *karbon* (C), *alumunium* (Al), *silika* (Si), *kalsium* (Ca), *magnesium* (Mg), dan *fosfor* (P), sedangkan belerang (*Sulfur*) meningkatkan daya dukung tanah dengan cara meningkatkan parameter tanah, seperti kohesi, sudut geser dan kepadatan tanah. Stabilisasi tanah adalah proses pemadatan tanah dengan bahan dan perkuatan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat mekanis tanah, stabilisasi tanah adalah suatu usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat tanah agar memenuhi syarat tertentu, sehingga walaupun suatu perkerasan kontruksi tersebut sudah dipadatkan, belum tentu mencapai syaratatau parameter tertentu. Untuk itu salah satu cara peningkatan daya dukung tanah dengan cara kimiawi menggunakan zat *aditive* yang dikenal dengan nama abuarangkayu dan belerang(*Sulfur*).

Dari hasil penelitian dan pengujian pada sampel tanah yang diberi penambahan arang kayu dan belerang nilai CBR semakin meningkat. Sedangkan untuk pengujian CBR tanah yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro, dari sampel yang telah diujikan dengan campuran arang kayu yakni 2%, 4%, 6%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12% di lihat dari pengujian dilaboratorium Universitas Muhammadiyah Metro tanah campuran arang kayu yang memenuhi syarat dengan campuran yaitu 9% dengan nilai CBR 6,33% sedangkan untuk belerang menggunakan persentase 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12% dilihat dari pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro tanah campuran belerang yang memenuhi syarat terjadi pada campuran yaitu 10% dengan nilai CBR 6,63%.

Kata Kunci : Stabilisasi Kimiawi, Lempung Berpasir, Arang Kayu Sulfur.

PENDAHULUAN

Tanah adalah bagian yang terdapat pada kerak bumi yang tersusun atas mineral dan bahan organik, Tanah merupakan salah satu penunjang yang

membantu kehidupan semua mahluk hidup yang ada di bumi. Tanah sangat mendukung terhadap kehidupan tanaman yang menyediakan air di bumi. Selain itu, tanah juga merupakan tempat hidup berbagai mikroorganisme yang ada di

bumi dan juga merupakan tempat berpijak bagi sebagian makhluk hidup yang ada di darat. Dari segi klimatologi, tanah memegang peranan penting sebagai penyimpan air dan mencegah terjadinya erosi, meskipun tanah sendiri juga bisa tererosi. Tanah merupakan salah satu elemen penting sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi untuk mendukung suatu konstruksi teknik sipil seperti pondasi bangunan dan pekerjaan perkerasan jalan.

Tanah dasar adalah lapisan tanah paling bawah yang berfungsi sebagai dasar dari suatu konstruksi pekerjaan. Tanah dasar (*subgrade*) merupakan permukaan tanah asli atau tanah galian atau tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Kualitas tanah asli sebagai permukaan dasar (*subgrade*) sangat menentukan konstruksi perkerasan, jika tanah dasar mempunyai daya dukung rendah maka konstruksi perkerasan akan cepat mengalami kerusakan. Perubahan tanah dasar dapat diakibatkan oleh kekuatan atau daya dukung yang rendah, pengembangan, penyusutan serta konsolidasi tanah dibawah tanah dasar. Faktor-faktor tersebut akan tergantung dari jenis tanah, berat isi kering dan kadar air tanah.

Permasalahan yang sering dihadapi dalam merencanakan dan melaksanakan konstruksi perkerasan adalah melihat karakteristik tanah yang kurang baik, kondisi ini dapat dilihat dari bentuk fisik tanah menjadi retak-retak, kerusakan tersebut karena rendahnya nilai kuat dukung dan kuat geser tanah. Perubahan bentuk tetap dari jenis tanah tertentu akibat beban muatan (beban siklik/berulang). Perubahan bentuk yang besar akan mengakibatkan konstruksi perkerasan tersebut rusak. Lapisan-lapisan tanah lunak yang terdapat dibawah tanah dasar harus diperhatikan, tanah dasar yang mempunyai kekuatan

dan volume yang rendah akan mengakibatkan perkerasan mudah mengalami deformasi dan retak, oleh sebab itu tanah dasar yang akan digunakan untuk konstruksi perkerasan perlu distabilisasikan agar daya dukung tanah tersebut baik.

Stabilisasi tanah adalah proses pemadatan tanah dengan bahan dan perkuatan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat mekanis tanah, stabilisasi tanah adalah suatu usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat tanah agar memenuhi syarat tertentu, sehingga walaupun suatu perkerasan konstruksi tersebut sudah dipadatkan, belum tentu mencapai syarat atau parameter tertentu. Melihat perkembangan teknologi perkuatan daya dukung tanah stabilisasi tanah telah mengalami peningkatan. Salah satu teknologi yang bisa digunakan pada stabilisasi tanah adalah dengan cara kimiawi yaitu dengan metode pecampuran tanah uji dengan bahan organik atau zat *aditive* tertentu. Untuk itu salah satu cara peningkatan daya dukung tanah dengan cara kimiawi menggunakan zat *aditive* yang dikenal dengan nama abu arang kayu dan belerang (*Sulfur*).

Bahan arang kayu berfungsi untuk penyerapan air karena bubuk arang kayu mengandung unsur kima antara lain karbon (C), aluminium (Al), silika (Si), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan fosfor (P), sedangkan belerang (*Sulfur*) meningkatkan daya dukung tanah dengan cara meningkatkan parameter tanah, seperti kohesi, sudut geser dan kepadatan tanah.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah

Tanah (*Soil*) merupakan lapisan tipis kulit Bumi yang terbentuk dari proses pelapukan batuan induk yang terjadi didekat permukaan bumi sehingga membentuk tanah. Dalam pengertian teknik, tanah didefinisikan sebagai

material yang terdiri dari agregat/butiran mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel padat tersebut. Tanah mempunyai ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda-beda antara tanah di suatu tempat dengan tempat yang lain.

Tanah Lempung

Definisi Tanah Lempung

Tanah lempung terdiri dari berbagai golongan tekstur yang agak susah dicirikan secara umum. Sifat fisika tanah lempung umumnya terletak di antara sifat tanah pasir dan liat. Tanah lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm. Namun demikian, di beberapa kasus, partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm juga masih digolongkan sebagai partikel lempung. Sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Sedangkan untuk jenis tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantaranya daya dukung yang rendah, kemampuan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi kadar air yang relatif tinggi dan mempunyai gaya geser yang kecil. Kondisi tanah seperti ini akan menimbulkan masalah jika dibangun konstruksi di atasnya.

Jenis-jenis Lempung

Tanah Lempung Berlanau

Lanau adalah tanah atau butiran penyusun tanah yang berukuran di antara pasir dan lempung, tersusun dari butiran *quartz* (kuarsa) yang sangat halus, yang berasal dari pengikisan buatan alam. Sifat yang dimiliki tanah lanau adalah sebagai berikut.

- a. Ukuran butir halus, antara 0,002-0,05mm.
- b. Bersifat Kohesif.
- c. Permeabilitas rendah.

- d. Proses penurunan lambat.
- e. Kembang susut rendah sampai sedang.

Lempung berlanau adalah tanah lempung yang mengandung lanau dengan material utamanya adalah lempung. Tanah lempung berlanau merupakan tanah yang memiliki sifat plastisitas sedang dengan indeks plastisitas 7-17 dan kohesif.

Tanah Lempung Berpasir

Suatu tanah dapat dikatakan lempung berpasir bila lebih dari 50% mengandung butiran lebih kecil dari 0,002 mm dan sebagian besar lainnya mengandung butiran antara 2 – 0,075 mm. Pada Sistem Klasifikasi *Unified* (ASTM D 2487-66T) tanah lempung berpasir digolongkan pada tanah dengan simbol CL yang artinya tanah lempung berpasir memiliki sifat kohesi sebagian karena nilai plastisitasnya rendah ($PI < 7$). Sifat-sifat tanah berpasir adalah sebagai berikut.

- a. Ukuran butiran antara 2–0,075 mm.
- b. Bersifat non kohesif.
- c. Proses penurunan sedang sampai cepat.
- d. Kenaikan air kspiler yang rendah 0,12-1,2 m.

Nilai koefisien permeabilitas antara 1,0-0,001 sm/det.

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Adapun tujuan stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Sifat-sifat tanah yang dapat diperbaiki dengan cara stabilisasi dapat meliputi : kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung,

permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan.

Menurut *Bowles*, 1991 beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut :

- a. Meningkatkan kerapatan tanah.
- b. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
- c. Menambah bahan yang menyebabkan perubahan kimiawi dan fisis tanah.
- d. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
- e. Mengganti tanah yang buruk.

Tipe-Tipe Stabilisasi

Pada umumnya tipe atau cara yang digunakan untuk stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi tiga yaitu :

- a. Stabilisasi Alami
Stabilisasi alami merupakan jenis stabilisasi yang terjadi karena proses alam sehingga tidak membutuhkan perlakuan khusus dalam memperbaiki sifat mekanis tanah. Contoh tanah memadat akibat berat sendiri, resapan air hujan, penyusutan air akibat penguapan, akar tanaman dan lain-lain.
- b. Stabilisasi Mekanis
Stabilisasi mekanis atau mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah yang bergradasi berbeda secara proporsional yang diikuti dengan proses pemadatan, untuk mendapatkan kepadatan maksimum. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk ditempat dan menggantinya dengan material granular dari tempat lain. Menurut *Lambe* (1962) stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat-sifat tanah :
 1. Penyusunan kembali partikel tanah, seperti contohnya

pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu dan pemadatan.

2. Penambahan atau penyingkiran partikel tanah. Contohnya lempung berpasir dicampur dengan kerikil untuk memenuhi daya dukung di jalan tertentu.
- c. Stabilisasi Kimiawi
Stabilisasi dengan bahan tambah atau dapat disebut juga stabilisasi kimiawi yaitu stabilisasi menggunakan bahan kimia untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia, dan menghasilkan senyawa baru yang bersifat stabil. bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Metode ini dapat menggunakan larutan kimia/bubuk kimia, yang dicampurkan dengan tanah yang akan diperbaiki, dengan beberapa metode pencampuran yang disesuaikan dengan kondisi bahan pencampur maupun kondisi tanahnya. . Contoh : Kapur, semen portland, abu terbang (*fly ash*) aspal dan lain-lain.

Serbuk Arang Kayu

Stabilisasi adalah proses untuk memperbaiki sifat – sifat tanah dengan cara menambahkan sesuatu pada tanah tersebut agar daya dukung tanah meningkat. Metode yang digunakan adalah metode stabilisasi kimiawi, stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan cara mengurangi atau menghilangkan sifat – sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan mencampurkan tanah dengan bahan campuran bubuk arang kayu. Hal ini dibuktikan dengan hasil uji kandungan unsur kimia bubuk arang kayu yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia Fakultas Mipa Universitas Gadjah Mada Yogyakarta , bubuk arang kayu mengandung unsur kimia antara lain karbon (C), aluminium (Al), Silika (Si),

Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan Fosfor (P), Untuk itu diperlukan upaya stabilisasi tanah lempung sebelum membangun konstruksi di atas tanah dasar yang memiliki daya dukung rendah. Penelitian ini menggunakan bahan bubuk arang kayu sebagai bahan campuran dalam menstabilisasi tanah diharapkan akan diperoleh campuran dengan mutu baik dan meningkatkan daya dukung tanah yang baik.

Menurut Sengeoris (2011) menyebutkan bahwa :

- a. Tanah asli diidentifikasi sebagai tanah A-7-6 pada sistem klasifikasi AASHTO (1986). Ini juga tanah liat plastisitas tinggi (CH) menurut sistem klasifikasi terpadu (USC).
- b. Pengaruh dengan pencampuran bubuk arang kayu menunjukkan penurunan umum pada Berat volume kering (OMC) dan Kadar air (MDD) mengalami kenaikan.
- c. Variasi CBR dengan peningkatan bubuk arang kayu dari 5 sampai 7,5% serta perawatan 0, 3, dan 7 hari untuk mengetahui besarnya pengaruh yang terjadi pada tanah terhadap nilai sifat fisis dan mekanis tanah.

Nilai berat volume kering maksimum terkecil dan kadar air optimum terbesar terdapat pada arang kayu.

Belerang

Sulfur, atau yang biasa dikenal dengan belerang merupakan unsur paling banyak kesepuluh yang ada di alam semesta. Unsur ini telah dikenal sejak zaman kuno. Antoine Lavoisier sekitar tahun 1777 meyakinkan seluruh komunitas ilmiah bahwa sulfur adalah sebuah unsur. Sulfur merupakan komponen dari banyak mineral umum, seperti *galena* (PbS), *gypsum* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$), *pirit* (FeS_2), *sphalerite* (ZnS atau FeS), *cinnabar* (HgS), *stibnite* (Sb_2S_3), *epsomite* ($\text{MgSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$), *celestite* (SrSO_4) dan *barite* (BaSO_4). Hampir

25% dari sulfur yang diproduksi saat ini didapatkan dari operasi pemurnian minyak bumi dan merupakan produk sampingan dari ekstraksi bahan lain dari sulfur yang mengandung bijih (pasir, tanah, atau batuan yang mengandung cukup mineral yang berguna untuk diolah menjadi barang ekonomi).

Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat yang telah ditentukan komposisi tambahannya. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan dilokasi proyek atau di laboratorium, dipabrik, atau dilakukan di tempat pengambilan bahan timbunan (*borrow area*) tetapi penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro, Lampung. Material yang telah dicampur ini, kemudian dihamparkan dan dipadatkan di laboratorium. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara mengambil tanah langsung ditempat dan menggantinya dengan material *granuler* ditempat lain

Menurut *lambe* (1962), dan *Hary Cristady Hardiyatmo* (2010), stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat – sifat tanah :

- a. Penyusunan kembali partikel – partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu dan pemadatan.
- b. Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah, sifat fisik tanah tertentu dapat diubah dengan menambahkan dan memisahkan ini umumnya sangat lebih rendah dibandingkan dengan metode stabilisasi yang lain. Kaitannya dengan penelitian ini pengujian sifat mekanis tanah yang dilakukan meliputi:

California Bearing Ratio (CBR)

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi atas :

CBR lapangan disebut juga CBR *inplace* atau *field* CBR berfungsi

- a. Mendapatkan nilai CBR asli di lapangan sesuai dengan kondisi tanah pada saat itu. Umumnya untuk perencanaan tebal lapis perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi.
- b. Untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan ini tidak umum digunakan. Metode pemeriksaannya dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gardan truk.

CBR Lapangan Rendaman (*Undisturbed Soaked CBR*)

CBR lapangan rendaman ini berfungsi untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum. Hal ini sering digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi, terletak pada daerah yang badan jalannya sering terendam air pada musim penghujan dan kering pada musim kemarau. Sedangkan pemeriksaan dilakukan di musim kemarau. Pemeriksaan dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam tabung (*mold*) yang ditekan masuk kedalam tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. Tabung berisi contoh tanah dikeluarkan dan direndam dalam air selama beberapa hari sambil diukur pengembangannya. Setelah pengembangan tidak terjadi lagi, barulah dilakukan pemeriksaan besarnya CBR.

CBR Laboratorium

Tanah dasar pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan. CBR ini disebut CBR Laboratorium, karena disiapkan di Laboratorium. CBR Laboratorium dibedakan atas 2 macam, yaitu;

- a. CBR Laboratorium rendaman (*Soaked Laboratory CBR*)
- b. CBR Laboratorium tanpa rendaman (*Unsoaked Laboratory CBR*)

Untuk metode CBR rendaman, contoh tanah di dalam cetakan direndam dalam air sehingga air dapat meresap dari atas maupun dari bawah dengan permukaan air selama perendaman harus tetap kemudian benda uji yang direndam telah siap untuk diperiksa. Sedangkan untuk metode CBR tanpa rendaman, contoh tanah dapat langsung diperiksa tanpa dilakukan perendaman (ASTM D-1883-87).

Parameter CBR

Alat yang digunakan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch dengan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,05 inch/menit, *Proving Ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (*dial*). terhadap penetrasi bahan standar.

Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1" dan penetrasi 0,2", yaitu dengan rumus sebagai berikut :

Nilai CBR pada penetsai 0,1"

$$CBR_{0,1} = \frac{X}{P_s} \times 100\% = \frac{X}{3000} \times 100\%$$

Nilai CBR pada penetrasi 0,2"

$$CBR_{0,2} = \frac{Y}{P_s} \times 100\% = \frac{Y}{4500} \times 100\%$$

Dimana :

X = Pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1”

Y = Pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2”

Ps = Beban standar

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR.

Klasifikasi Menurut AASTHO

Sistem Klasifikasi ASSTHO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) berguna untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*sub-base*) dan tanah dasar (*subgrade*). Sistem klasifikasi AASTHO membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah berbutir yang 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3. Tanah berbutir yang lebih dari 35 % butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7.

Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian dari tanah yang halus mempunyai Indeks Plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila bagian dari tanah yang halus mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih. Apabila ditemukan batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentasi dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat. Apabila sistem klasifikasi AASTHO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 3. Kelompok tanah dari sebelah kiri adalah kelompok tanah baik dalam menahan beban roda,

juga baik untuk lapisan dasar tanah jalan. Sedangkan semakin ke kanan kualitasnya semakin berkurang.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Dalam penelitian ini peneliti ingin mengetahui tanah lempung berpasir dapat distabilisasikan menggunakan arang kayu dan belerang pada tanah dasar struktur perkerasan jalan. Metode pengambilan data dilakukan secara langsung pada lokasi yang telah ditentukan.

Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat untuk uji batas-batas konsistensi, uji *proctor modified*, uji CBR dan peralatan lainnya yang ada di Laboratorium Mekanika Tanah Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Metro yang telah sesuai dengan standarisasi *American Society for Testing Material* (ASTM).

Tahap Penelitian

Teknik Sampling

Teknik Sampling Teknik sampling adalah teknik yang dilakukan untuk menentukan sampel. Jadi, sebuah penelitian yang baik haruslah memperhatikan dan menggunakan sebuah teknik dalam menetapkan sampel yang akan diambil sebagai objek penelitian. Dalam hal ini peneliti mengambil objek penelitian tanah lempung berpasir, dengan pengujian dilakukan secara langsung dilokasi Laboratorium Universitas Muhammadiyah Metro, adapun sampel tanah lempung berpasir sebagai objek utama dengan campuran yang diambil. Metode pencampuran untuk masing-masing prosentasi dicampur dengan sampel tanah yang lolos saringan No. 4 (4,75mm) adalah penambahan bahan arang kayu dan belerang dilakukan dengan cara coba-coba (*trial and error*) terhadap masing-masing sampel tanah asli untuk mendapatkan persentase kadar terbaik

hingga didapatkan nilai CBR minimum yang disyaratkan yaitu 6% (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

Tahapan

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Pengujian Sampel Tanah Lempung Berpasir (Tanah Asli)

- a. Pengujian kadar air di laboratorium.
- b. Pengujian analisa saringan di laboratorium.
- c. Pengujian batas-batas atterbeg (*liquid limit an plastis limit*) di laboratorium
- d. Pengujian berat jenis di laboratorium.
- e. Pengujian pemadatan di laboratorium.
- f. Pengujian CBR di laboratorium.
- g. Analisa klasifikasi tanah lempung berpasir menurut USCS.

Pengujian Pada Tanah Lempung Berpasir Yang Telah Distabilisasi Menggunakan Arang Kayu dan Belerang

- a. Pengujian kadar air di laboratorium.
- b. Pengujian analisa saringan di laboratorium.
- c. Pengujian batas-batas atterbeg (*liquid limit an plastis limit*) di laboratorium
- d. Pengujian berat jenis di laboratorium.
- e. Pengujian pemadatan di laboratorium.
- f. Pengujian CBR di laboratorium.
- g. Analisa klasifikasi tanah lempung berpasir menurut USCS.

Definisi Operasional Variabel

Menurut Hatch dan Farhady (dalam Sugiono, 2015:38) adalah atribut atau objek yang memiliki variasi satu sama lainnya. Identifikasi variabel dalam penelitian ini untuk membantu dalam menentukan alat pengumpulan data dan teknik analisis data yang digunakan.

Penelitian ini terdapat dua variabel terkait yaitu:

Variabel Terikat Yaitu Tanah Lempung Berpasir

Pada hal ini Tanah Lempung berpasir merupakan variabel terkait yang akan dipengaruhi dengan adanya variabel bebas yaitu serbuk arang kayu dan serbuk belerang.

Variabel Bebas Yaitu Serbuk Arang Kayu Dan Serbuk Belerang

Arang kayu dan belerang adalah bahan campuran yang digunakan dalam stabilisasi daya dukung tanah lempung berpasir menggunakan campuran arang kayu dan belerang pada tanah dasar struktur perkerasan jalan. Adapun dengan Metode pencampuran untuk masing-masing prosentasi dicampur dengan sampel tanah yang lolos saringan No. 4 (4,75mm) adalah penambahan bahan bubuk arang kayu dan belerang dilakukan dengan cara coba-coba (*trial and error*) terhadap masing-masing sampel tanah asli untuk mendapatkan persentase kadar terbaik hingga didapatkan nilai CBR minimum yang disyaratkan yaitu 6% (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

Teknik Pengumpulan Data

Dalam proses penelitian stabilisasi daya dukung tanah lempung berpasir diperlukan data untuk dapat melakukan analisis yang baik diperlukan dengan mengacu pada data, informasi, teori dasar guna membantu penelitian ini. Data yang diperlukan antara lain sebagai berikut.

1. Data Primer

Sumber data primer bisa langsung didapatkan dengan pengambilan sampel tanah lempung berpasir dilokasi Kelurahan Adipuro, Kecamatan Trimurjo. Serta penambahan reaksi dengan dilakukannya pencampuran berdasarkan yang telah ditentukan yaitu arang kayu dan belerang.

2. Data Sekunder

Sumber data sekunder adalah sumber data penunjang yang berkaitan dapat berupa buku-buku tentang *Subject Matter* yang ditulis orang lain, dokumen-dokumen berdasarkan hasil penelitian dan hasil laporan. Sumber data sekunder diharapkan dapat menunjang penulis dalam mengungkap data yang diperlukan dalam penelitian, sehingga sumber data primer menjadi lebih lengkap. Data sekunder yang peneliti gunakan berasal dari perpustakaan, gambar, dokumen, dan sumber-sumber lain yang terkait dengan data.

Instrumen Penelitian

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Metro. Pengujian dilakukan menjadi 2 bagian yaitu pengujian untuk tanah asli dan tanah campuran atau tanah yang sudah di stabilisasikan menggunakan serbuk arang kayu dan serbuk belerang, adapun pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian kadar air di laboratorium.
- b. Pengujian analisa saringan di laboratorium.
- c. Pengujian batas-batas atterbeg (*liquid limit dan plastis limit*) di laboratorium
- d. Pengujian berat jenis di laboratorium.
- e. Pengujian pepadatan di laboratorium.
- f. Pengujian CBR di laboratorium.
- g. Analisa klasifikasi tanah lempung berpasir menurut USCS.

Teknik Analisis Data

Semua hasil yang didapat dari pelaksanaan penelitian akan ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik hubungan/korelasi serta penjelasan-penjelasan yang didapat dari :

1. Hasil dari pengujian sampel tanah asli tanpa campuran (0%) akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan

digolongkan berdasarkan sistem klasifikasi tanah USCS.

2. Dari hasil pengujian CBR Laboratorium terhadap masing-masing campuran Arang kayu dan belelang dengan tanah lempung berpasir berplastisitas tinggi ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik hasil pengujian.
3. Dari hasil pengujian parameter CBR terhadap masing-masing campuran Arang kayu dan belelang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik hasil pengujian dan didapatkan kadar Arang kayu dan belelang optimumnya.
4. Analisis mengenai perubahan karakteristik pada pencampuran Arang kayu dan belelang dengan sampel tanah dengan menggunakan kadar Arang kayu dan belelang optimum dan hasil pengujian, mengacu pada perubahan nilai dari parameter-parameter pengujian seperti pengujian batas-batas *Atterbeg* dan pengujian CBR, sebagai berikut:
 - a. Dari hasil pengujian laboratorium untuk parameter batas-batas konsistensi yang terdiri dari 3 parameter yaitu batas plastis (PL), batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI), yaitu kemudian dipaparkan hasilnya bentuk tabel dan grafik, dengan cara membandingkan nilai batas cair dan batas plastis kadar Arang kayu dan belelang Optimum, dari tabel dan grafik nilai batas cair dan batas plastis tersebut maka akan didapatkan penjelasan perbandingan antara pengaruh masing – masing komposisi dengan nilai batas cair dan batas plastisnya (*batas atterberg*)
 - b. Hasil pengujian parameter CBR, nilai kekuatan daya dukung campuran akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antara nilai peningkatan /

- penurunan nilai CBR. Dari tabel dan grafik nilai CBR tersebut maka akan didapatkan penjelasan mengenai hasil analisis perbandingan kualitas daya dukung tanah yang terjadi pada masing-masing penetrasi.
5. Dari seluruh analisis hasil penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan berdasarkan tabel dan grafik yang telah ada terhadap hasil penelitian yang didapat.
 6. Setelah dilakukan analisis, yang di dapat dari penelitian stabilisasi tanah adalah mengetahui daya dukung tanah asli dengan tanah campuran.
 7. Tujuan penelitian adalah mengetahui dan menganalisis pengaruh penambahan bahan arang kayu dan belerang pada variasi kadar campuran tertentu terhadap sifat mekanis pada tanah dasar atau *subgrade*.

Dapat mengetahui sejauh mana perubahan sifat mekanis tanah sebelum dan sesudah dilakukan stabilitas dengan bahan tambahan arang kayu dan belerang untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar/*subgrade*.

HASIL PENELITIAN

Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Asli 0%

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Asli

No	Pengujian	Hasil
1.	Analisa Saringan	
	Lolos Saringan No.200 (%)	2,15%
2.	Kadar Air (w)	36,72%
3.	Berat Jenis (Gs)	2,36
4.	Batas <i>Atterberg</i>	
	a. Batas Cair (LL)	44%
	b. Batas Plastis (PL)	21,2%
	c. Indeks Plastisitas (IP)	22,8%
5.	Pemadatan (Standard)	
	a. Kadar Air Optimum (OMC)	21,84%
	b. Berat Isi Kering Maksimum (γ_{dmaks})	3,49 gr/cm ³

6. Nilai CBR Laboratorium	2,10%
---------------------------	-------

(Hasil Pengujian Di Laboratorium, 2022)

Kesimpulan Pengujian Menurut USCS dan AASTHO

Menurut sistem klasifikasi USCS, hasil pengujian sifat fisik tanah asli menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki nilai batas cair (LL) rata-rata 44% (<50%), dan nilai indeks plastisitas rata-rata sebesar 22,80%. Apabila nilai tersebut diplotkan pada diagram plastisitas maka tanah tersebut dalam kelompok C dan CL yaitu lempung anorganis dan lempung berpasir dengan plastis rendah.

Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah dan Analisis Data Hasil Penelitian

Sesuai metode pencampuran seperti yang di jelaskan pada BAB III untuk memperoleh kadar campuran yang tepat diperlukan beberapa percobaan pengujian (*trial and error*) sehingga didapatkan batas stabilitas tanah untuk mencegah massa penurunan tanah dengan penambahan campuran Arang kayu dan belerang setiap percobaan jika hasil tes tidak sesuai yang disyaratkan maka kadar campuran ditingkatkan sesuai kelipatan kenaikan nilai yang maksimum. Sehingga diperoleh hasil percobaan campuran Arang kayu sebanyak 2%, 4%, 6%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12%, sedangkan untuk campuran belerang menggunakan 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%.

Metode analisis data adalah metode atau cara yang digunakan untuk menyederhanakan dan mempermudah dalam memahami data yang diperoleh di laboratorium. Data di laboratorium yang telah didapatkan kemudian dianalisis berdasarkan urutan pekerjaannya. Analisa data untuk mengetahui parameter tanah selama dalam penelitian serta mencari nilai-nilai kumulatif tanah serta membuat kesimpulan dari hasil pengujian dilakukan. Berikut ini analisis terhadap data yang telah diujikan :

Analisa Saringan Sieve Analysis (SNI-1968-1990)

Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan disaringan no. 200 dan untuk mengetahui pembagian butir-butir tanah (*gradasi*) agregat halus dan kasar dengan menggunakan saringan nomor, No.4, No.10, No.20, No.30, No.40, No.60, No.80, NO.100, NO.200 pan dan penutup. Dari hasil pengujian analisa saringan persentase lolos saringan No.4 sebesar 88,38%, sedangkan persentase lolos saringan No.200 sebesar 0,89%, dari hasil pengujian analisa saringan grafik mengalami kenaikan yang sangat signifikan. Dari pengujian analisa saringan dapat diklasifikasikan tanah yang lolos saringan No.4 termasuk kedalam kelompok tanah berbutir kasar, karena kandungan butiran yang lolos saringan No.200 < 50%. (Klasifikasi USCS).

Pengujian Kadar Air (SNI 03-1997-1990)

Tujuan pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kadar air dalam tanah. Kadar air suatu tanah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat butir tanah tersebut dan dinyatakan dalam persendengan menggunakan alat oven, pengujian kadar air tanah asli pada semua titik sampel menunjukkan nilai kadar air yang terkandung dalam tanah lempung berpasir tersebut sebesar 35,48%, 38,81%, 36,48%, 38,35%, 34,48% untuk masing-masing titik. Jika ditarik rata-rata dari semua titik sampel diperoleh kadar air dengan nilai 36,72%. Hasil penelitian ini menunjukkan kandungan air dari tanah lempung berpasir yang tinggi dan memiliki nilai indeks yang tinggi (Hardiyatmo, 2002).

Pengujian Batas Atterbeg Limit (ASTM-4318-89)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis, sedangkan batas plastis adalah kadara air minimum suatu tanah dalam keadaan plastisitas. Nilai indeks plasitas (PL) sangat menentukan sifat keplastisan tanah. Semakin besar nialai Pl, maka akan semakin besar tingkat plastis tanah tersebut. Pengamatan diperoleh nilai indeks plastisitas rata-rata sebesar 21,20%, karena dilihat dari tabel sifat nilai indek plastisitas dari pengujian ini termasuk kedalam kelompok tanah yang memiliki nilai Pl < 17 yang bersifat plastisitas tinggi dilihat dari klasifikasi tanah (Hardiyatmo, 2002).

Pengujian Berat Jenis SNI 1964-2008

Tujuan pengujian berat jenis tanah untuk mendapatkan nilai berat jenis dari suatu sampel tanah. Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air pada temperatur tertentu. Sampel tanah asli yang lolos saringan No.40 dikeringkan dalam oven. Didapatkan berat jenis (Gs) rata-rata per titik antara 2,36 gr/cm³. Jika diambil rata-rata dari semua titik diperoleh nilai berat jenis (Gs) 2,36 gr/cm³, nilai ini jika dikategorikan pada tabel 14 termasuk kedalam jenis tanah lempung anorganis dan lempung berpasir dengan plastis rendah. Dari hasil analisis dalam pengujian ini dikategorikan termasuk kedalam jenis tanah empung anorganis dan lempung berpasir dengan plastis rendah dilihat dari klasifikasi tanah (Hardiyatmo, 1992).

Pemadatan Tanah Proctor Standard (SNI 03-1744-2012)

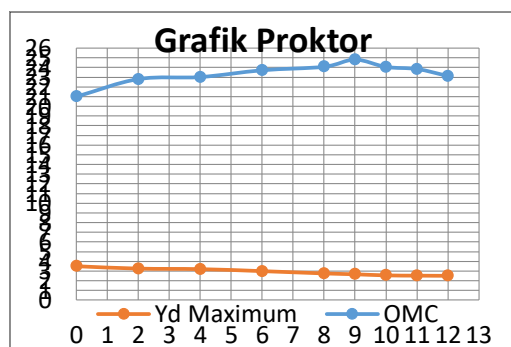
Pengujian ini untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan. Untuk

berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya dengan alat yang digunakan satu set uji *proctor*. Hasil dari pengujian pemadatan diperoleh nilai OMC dan v_{dmaks} dari hasil kadar campuran Arang kayu dan belerang mendapatkan kadar campuran maksimum untuk campuran Arang kayu 9% dengan kadar air optimum 24,06%, dengan berat kering maksimum 2,551, sedangkan untuk campuran belerang 10% dengan kadar air optimum 41,96%, dengan berat kering maksimum 2,773 gr/cm³. Menurut *Proctor* (1933) dan Hardiyatmo (2002), hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume, karena hal ini air mengisi rongga pori yang sebelumnya di isi oleh butiran padat setelah dilakukan pemadatan dengan penambahan campuran Arang kayu dan belerang tanah akan mencapai batas maksimum.

Tabel 2. Rekapitulasi Pemadatan Tanah Asli + Arang kayu

Tanah Asli + Arang kayu	Kadar Air Optimum (%)	Berat Kering Maksimum (gr/cm ³)
0%	21,84	3,493
2%	22,81	3,248
4%	23,02	3,195
6%	23,72	2,988
8%	24,08	2,752
9%	24,82	2,663
10%	24,06	2,551
11%	23,85	2,521
12%	23,13	2,506

(Yusuf Amran dan Agung Prasetyo, 2022)

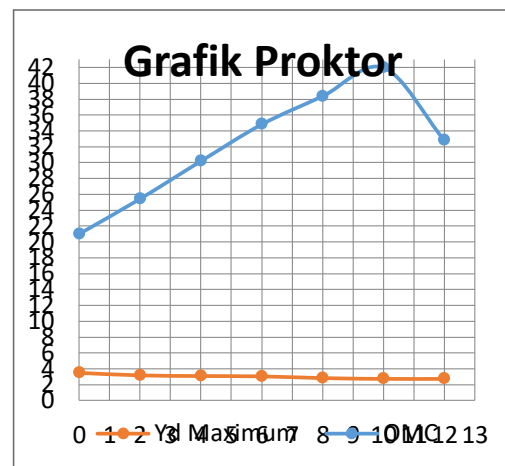


Gambar 1. Grafik Rekapitulasi Nilai Pengujian Pemadatan Tanah Asli + Arang kayu (Sumber: Yusuf Amran dan Agung Prasetyo, 2022)

Tabel 3. Rekapitulasi Pemadatan Tanah Asli + Belerang

Tanah Asli + Belerang	Kadar Air Optimum (%)	Berat Kering Maksimum (gr/cm ³)
0%	21,84	3,493
2%	25,42	3,177
4%	30,18	3,093
6%	34,82	3,050
8%	38,37	2,833
10%	41,96	2,773
12%	32,80	2,732

(Yusuf Amran dan Agung Prasetyo, 2022)



Gambar 2. Grafik Rekapitulasi Nilai Pengujian Pemadatan Tanah Asli + Belerang (Sumber : Yusuf Amran dan Agung Prasetyo, 2022)

Dari hasil pengujian pemadatan tanah campuran Arang kayu mendapatkan kadar campuran maksimum 9% dengan kadar air optimum 24,82%, dengan berat kering maksimum 2,663 gr/cm³. Sedangkan campuran belerang mendapatkan kadar campuran maksimum 10% dengan kadar air optimum 41,96%, dengan berat kering maksimum 2,773 gr/cm³ Nilai kadar air optimum cenderung semakin meningkat dari tanah aslinya.

Pengujian CBR (SNI 03-1744-2012)

Pengujian ini bertujuan untuk mendapat nilai CBR pada tanah asli + campuran Arang kayu dan tanah asli + campuran Belerang. Pengujian dilakukan terhadap sampel benda uji yang masing-masing diberikan kadar air optimum dari hasil pengujian pemadatan. Sebelum pengujian CBR, sampel tanah dilakukan pemadatan terlebih dahulu sebanyak 10x, 25x, dan 56x tumbukan per lapis untuk masing-masing sampel.

Dari pengujian CBR tanah asli + Arang kayu yang paling tinggi nilai CBR campurannya adalah 9% dengan nilai CBR 6,33% dan CBR tanah asli + belerang paling tinggi CBR nya adalah 10% dengan nilai CBR 6,63%. Dari hasil analisis menunjukkan dengan penambahan Arang kayu dan belerang mengakibatkan perubahan nilai CBR tanah rata-rata pada sifat mekanis tanah yang mengalami peningkatan stabilisasi terhadap tanah aslinya.

Pengaruh penambahan Arang kayu dan belerang pada penelitian di laboratorium yang telah dilaksanakan untuk mendapat hasil dari parameter sifat mekanis tanah yang distabilisasikan dengan Arang kayu dan belerang berupa nilai γd_{max} , OMC, dan CBR laboratorium.

Pengujian Pemadatan Tanah Campuran

Dari hasil pengujian pemadatan tanah campuran, Menunjukkan perubahan pada nilai isi kering γd_{max} dan OMC. Semakin banyak persentase penambahan kadar campuran semakin turun nilai γd_{max} nya, Sedangkan Semakin banyak persentase penambahan kadar campuran semakin naik nilai OMC nya, Tetapi jika terlalu banyak nilai persentase kadar campuran nya maka semakin menurun nilai OMC nya, hal ini disebabkan Arang kayu dapat menyerap air pada tanah dan belerang dapat meningkatkan parameter tanah.

Dari hasil pengujian CBR tanah campuran, menunjukkan perubahan pada nilai CBR. Hal ini ditunjukkan pada banyaknya jumlah presentase, yang menunjukkan kadar campuran mengalami kenaikan nilai CBRnya. Sehingga berpengaruh pada presentase yang terjadi pada campuran Arang kayu . Pada campuran 9% yang menunjukkan kenaikan nilai tertinggi. Sedangkan pada campuran lebih dari 9% akan mengalami penurunan nilai CBRnya.

Namun pada campuran belerang presentase tertinggi ditunjukkan pada campuran 10%, sedangkan presentase lebih dari 10% akan mengalami penurunan CBR. Hal ini di sebabkan adanya Arang kayu dapat menyerap air lebih cepat, sedangkan belerang dapat meningkatkan parameter tanah.

Pada persentase campuran Arang kayu dapat dilihat kenaikan persentase dari nilai CBR 2,1 (tanah asli) dengan persentase 100% mencapai batas maksimum CBR 6,33 (campuran Arang kayu) dengan persentase kenaikan 301%. Sedangkan pada campuran belerang mencapai batas maksimum CBR 6,63 dengan kenaikan persentase 316%.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada sampel tanah maka dapat disimpulkan bahwa sampel tanah yang diberi penambahan berupa Arang kayu dan belerang dapat memperbaiki atau meningkatkan daya dukung sifat mekanis tanah asli. Dilihat dari sampel tanah yang diberi penambahan arang kayu dan belerang nilai CBR semakin meningkat. Sedangkan untuk pengujian CBR tanah yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro, dari sampel yang telah diujikan dengan campuran arang kayu yakni 2%, 4%,

6%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12% di lihat dari pengujian dilaboratorium Universitas Muhammadiyah Metro tanah campuran arang kayu yang memenuhi syarat dengan campuran yaitu 9% dengan nilai CBR 6,33% sedangkan untuk belerang menggunakan persentase 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12% dilihat dari pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro tanah campuran belerang yang memenuhi syarat terjadi pada campuran yaitu 10% dengan nilai CBR 6,63%.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, AASHTO *Interm Guide For Design Of Pavement Structures* 1972, AASHTO Washington DC., Chapter III revised 1998.
- Bowles, 1989. Sistem Klasifikasi Tanah Unified Berdasarkan Kelompok, Jilid 1. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Braja, M, Das. 1998. Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Geoteknis) Jilid – 1. Penerbit Erlangga, Jakarta
- Das,1995. Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis), Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo Christady Hary. 2002. Mekanika Tanah I Edisi Ketiga. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyanto. 1996. Mekanika Tanah I Edisi Kelima. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyanto. 2002. Mekanika Tanah I Edisi Keenam. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Amran Yusuf. 2016. Analisis Daya Dukung Tanah (DDT) Pada Sub Grade/Tanah Dasar (Studi Kasus Pada Sub Grade Parkir Kampus 3 Universitas Muhammadiyah Metro). Tapak (Teknologi Aplikasi Kontruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro, (5). 2. h. 154 – 161
- Amran Yusuf dan Surandono Agus. 2017. Analisa Daya Dukung Tanah (DDT) Pada Subgrade Tanah Dasar (Studi Kasus : Ruas Jalan Ki Hajar Dewantara, 38b Banjar Rejo Lampung Timur – Batas Kota Metro). Tapak (Teknologi Aplikasi Kontruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro, (7). 1. h. 1 – 6
- Amran Yusuf dan Dewi Utama Sari. 2018. Analisis Perbaikan Subgrede Tanah Dasar Menggunakan Bahan Tambahan Kapur Dan Abu Sekam Padi Ruas Jalan Ki Hajar Dewantara, 38b Banjar Rejo Lampung Timur – Batas Kota Metro. Tapak (Teknologi Aplikasi Kontruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro. (8). 1. h. 1 – 8
- Amran Yusuf dan Sadiya Rizki. 2019. Analisis Stabilisasi Daya Dukung Tanah Lempung Menggunakan Abu Limbah Ampas Tebu Dan Semen Sebagai Lapis Pondasi Tanah Dasar (*Subgrade*). Tapak (Teknologi Aplikasi Kontruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro. (9). 1. h. 74 – 83
- Annual Book of Standar, ASTM D 5941, “Standard Test Method For Determining Charpy Impact Strength of Plastic”. ASTM, 1996.
- SNI. 2008, Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, SNI 1970 – 2008, Badan Standar Nasional.
- Terzaghi, K., and Peck, R. B., 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Wiley International Edition, 729.
- Terzaghi & B. Peck, 1993. Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa. Penerbit Erlangga, Jakarta.

USCS, 2013. *Unified Soil Classification System*. Klasifikasi Tanah Metode USCS.