

KORELASI ANTARA NILAI CBR DAN NILAI KUAT GESER SEBAGAI TANAH TIMBUN

Farian Albajili¹, Ferry Fatnanta², Soewignyo Agus Nugroho²

¹Jurusan Teknik Sipil, Program S-1, Fakultas Teknik Universitas Riau

²Staff Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru
Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

E-mail: Farianalbajili@gmail.com

ABSTRACT

In constructing the roadway, subgrade is the important part to supporting the whole traffic load/construction load above. The bearing capacity of subgrade influences the flexible pavement, if bearing capacity is higher, then the application of flexible pavement is fewer to support the traffic load. Subgrade is affected by type of soil, density of soil, water content and others (Hendarsin, 2000). Generally, design of parking area uses the geometric design of road method. This case is inappropriate with actual condition, because the load support to parking area is static load. Nowadays, parking area planning uses CBR's data, while CBR is used to dynamic load estimation. Therefore, this research will be doing study about correlation between CBR value and UCS.

Keyword : CBR, UCS, correlation

PENDAHULUAN

Dalam membangun suatu jalan, tanah dasar merupakan bagian yang sangat penting, karena tanah dasar akan mendukung seluruh beban lalu lintas/beban konstruksi dari atasnya. Jika tanah dasar yang ada berupa tanah lempung yang mempunyai daya dukung rendah, maka bangunan yang ada sering mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh kondisi tanah.

Kuat dukung tanah dasar sangat mempengaruhi tebal perkerasan, semakin tinggi kuat dukung tanah, maka tebal perkerasan yang diperlukan semakin tipis untuk menahan beban lalu lintas. Daya dukung tanah dasar (*subgrade*) dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, dan lain-lain (Hendarsin, 2000). Sesuai dengan

peraturan desain jalan, daya dukung tanah dasar untuk kebutuhan perencanaan tebal perkerasan jalan ditentukan dengan mempergunakan pemeriksaan CBR. CBR diperoleh dari hasil pemeriksaan sampel tanah yang telah disiapkan di laboratorium atau langsung di lapangan (Sukirman, 1999).

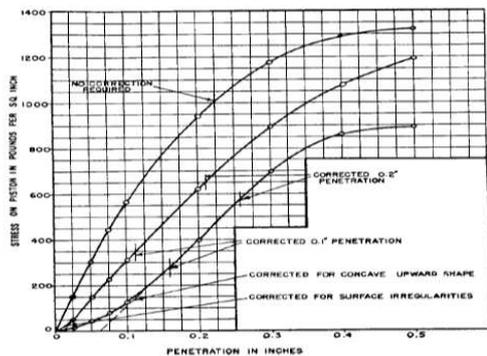
Pada lapangan parkir, desain ketebalan perkerasan menggunakan metoda desain perencanaan jalan. Hal itu tidak sesuai dengan kondisi yang sebenarnya, sebab beban yang bekerja pada lapangan parkir adalah beban statis. Hal ini karena kendaraan yang berada di lahan parkir dominan bersifat diam dari pada bergerak. Beban yang bekerja pada desain perencanaan jalan adalah beban dinamis, untuk beban statis lebih tepat menggunakan data uji

kuat tekan bebas atau UCS. Pada pelaksanaannya selama ini perencanaan lapangan parkir menggunakan data CBR. Data CBR cenderung digunakan untuk perhitungan beban dinamis, oleh sebab itu pada penelitian ini akan dilakukan studi mengenai korelasi antara nilai CBR dan UCS, sehingga diharapkan hasil penelitian dapat digunakan sebagai parameter dan alternatif lain dalam perencanaan di bidang teknik sipil.

LANDASAN TEORI CBR Tanah

Nilai CBR didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) dan dinyatakan dalam persentase. Tujuan dari percobaan CBR adalah untuk menentukan daya dukung tanah dalam kepadatan maksimum. Nilai CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban (Nugroho dan Ninik, 2007).

Dari hasil pemeriksaan, dibuat grafik hubungan antara beban dan penetrasi seperti gambar di bawah ini untuk menentukan besarnya beban pengujian terkoreksi:



Gambar 1. Grafik hubungan antara beban dan penetrasi pada pemeriksaan CBR

Nilai CBR tanah ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$CBR = \frac{PT}{PS} \times 100\%$$

dimana:

CBR = *california bearing ratio*

PT = beban pengujian terkoreksi

PS = beban standar

Beban standar yang dipakai untuk percobaan CBR dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penetrasi dan Beban Standar

Penetrasi (mm)	Beban standar (kN)
2,5	13,79
5,0	19,98
7,5	25,20
10,0	31,04
12,7	34,92

(Sumber: Panduan Praktikum Mekanika Tanah 1, Lab.Mektan UR, 2009)

CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) digunakan untuk mendapatkan nilai CBR pada keadaan kepadatan maksimum dengan kadar air yang telah ditentukan. CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan, selain itu jenis CBR ini digunakan untuk mengontrol kepadatan yang diperoleh apakah sudah sesuai dengan yang diinginkan. CBR dengan rendaman (*soaked*) digunakan untuk mendapatkan besarnya nilai CBR pada keadaan jenuh air dan tanah

mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum.

Pada pengujian CBR dengan rendaman, kadar air setelah dilakukannya perendaman dapat dihitung dan dapat ditentukan besarnya persentase derajat kejenuhan (S) tanah tersebut, rumus untuk menghitung derajat kejenuhan ini adalah:

$$S = \frac{v_w}{v_v} \times 100\%$$

dimana:

S = persentase derajat kejenuhan tanah

V_w = volume air didalam tanah

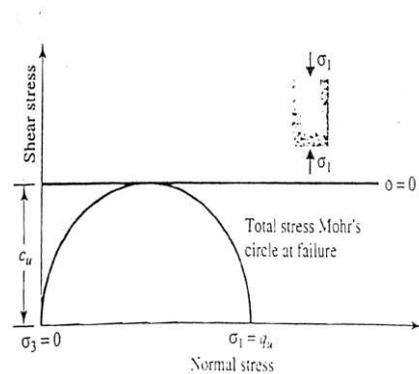
V_v = volume pori didalam tanah

Uji Tekan Bebas (UCS)

Uji kuat tekan bebas tanah dimaksudkan untuk menentukan kuat tekan bebas contoh tanah yang memiliki kohesi, baik tanah tidak terganggu (*undisturbed*), dicetak ulang (*remolded*) maupun contoh tanah yang dipadatkan (*compacted*). Standar ini digunakan sebagai acuan atau pegangan, terutama bagi teknisi laboratorium, dalam melakukan uji kuat tekan bebas tanah kohesif.

Pengujian ini adalah bentuk dari uji UU yang umum dilakukan terhadap sampel tanah lempung. Pada uji ini, tegangan penyekap σ_3 adalah nol. Tegangan aksial dilakukan terhadap benda uji secara relatif cepat sampai mencapai keruntuhan. Pada titik keruntuhan, harga tegangan total utama kecil (total minor principal stress) adalah nol dan tegangan total utama besar adalah σ_1 (Gambar 2.12). Karena kekuatan geser kondisi air-termampatkan dari tanah tidak tergantung pada tegangan penyekap, maka :

$$\sigma_r = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{qu}{2} = cu$$

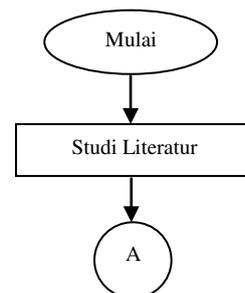


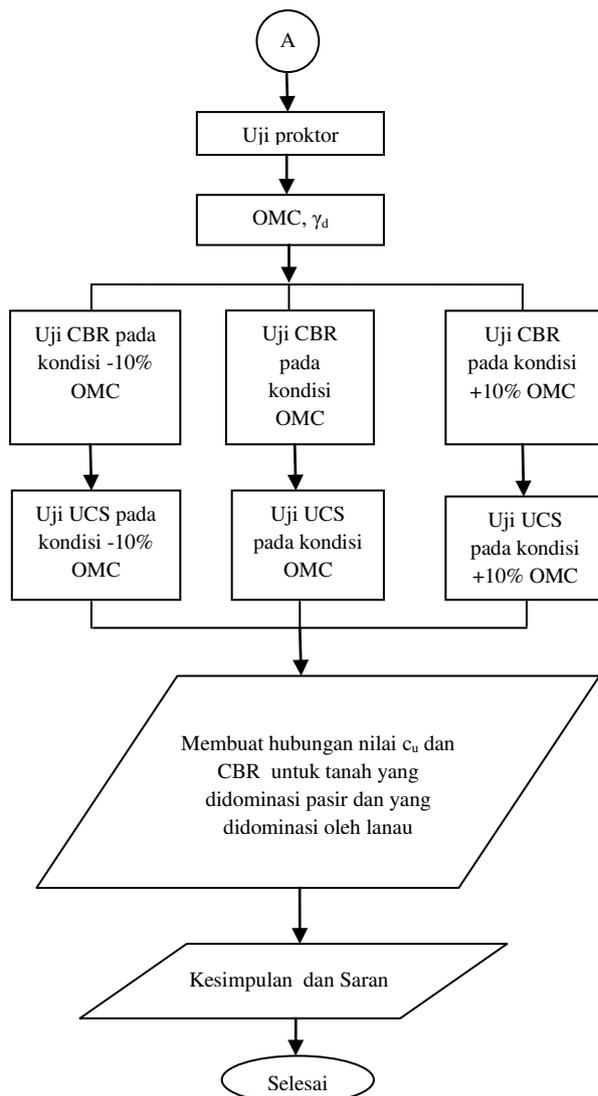
Gambar 2. Lingkaran Mohr dengan harga tegangan total utama kecil (*total minor principal stress*) adalah nol dan tegangan total utama besar adalah σ_1

qu di atas kita kenal sebagai kekuatan tekan tanah kondisi tak tersekap. Secara teoritis, untuk tanah lempung jenuh-air yang sama uji tekanan tak tersekap mampu dalam kondisi air termampatkan tak terkendali (*unconsolidated-undrained*) akan menghasilkan harga Cu yang sedikit lebih kecil dari harga yang didapat dari pengujian UU.

METODOLOGI PENELITIAN

Alur penelitian secara lengkap dapat dilihat pada *flowchart* penelitian pada Gambar 3.



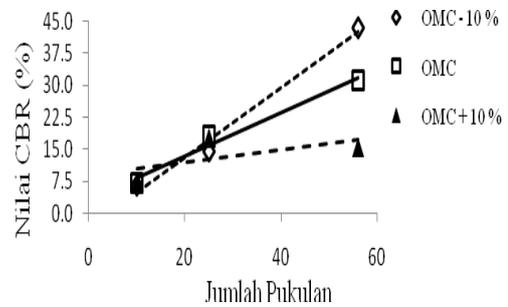


Gambar 3. Bagan alir (flowchart) Penelitian

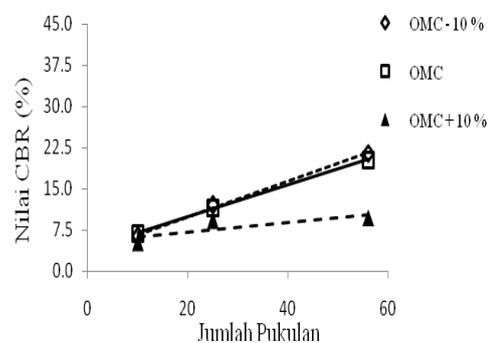
HASIL DAN PEMBAHASAN Pengujian CBR Tanah

Pada penelitian ini dilakukan pengujian CBR pada kondisi tanpa rendaman (*unsoaked*). Pengujian CBR yang dilakukan sesuai dengan ASTM D-1883. Pengujian nilai CBR dilakukan dua kali pengujian tiap sampelnya, yaitu bagian atas dan bagian bawah sampel, nilai CBR bagian atas dan bawah dirata-ratakan

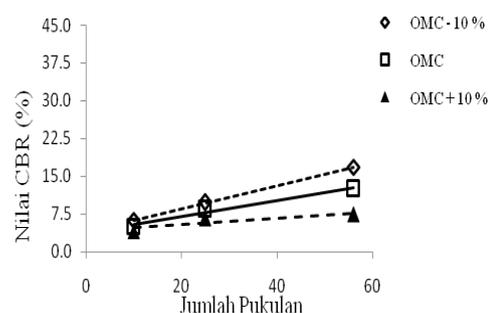
sehingga diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4, 5, dan 6.



Gambar 4. Nilai CBR tanah Quarry Garuda Sakti



Gambar 5. Nilai CBR tanah Quarry Kulim



Gambar 6. Nilai CBR tanah Quarry Palas

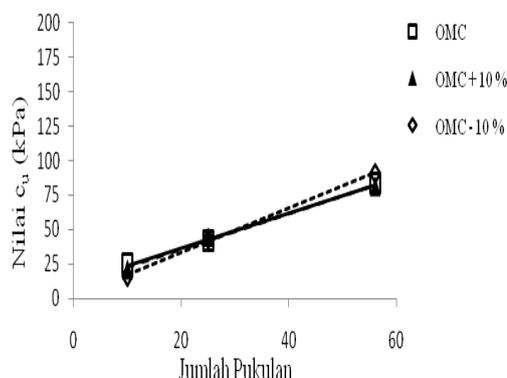
Berdasarkan Gambar 4, 5 dan 6 dapat disimpulkan bahwa nilai CBR yang paling besar yaitu sebesar 43,40 % yang berada di Quarry Garuda Sakti. Hal ini terjadi karena Quarry Garuda Sakti memiliki kadar pasir yang banyak, sehingga nilai CBR semakin besar. Kadar pasir

yang banyak berpengaruh pada kekuatan tanah karena sifat pasir yaitu memiliki tahanan friksi yang besar, sehingga tanah *Quarry* Garuda Sakti memiliki nilai CBR lebih besar dari pada *Quarry* Kulim dan *Quarry* Palas.

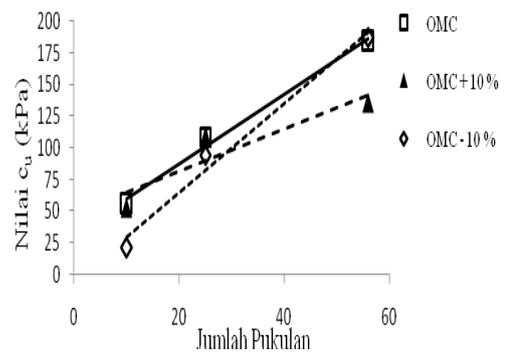
Pada *Quarry* Kulim dan *Quarry* Palas memiliki kadar lempung dan lanau yang banyak yaitu sebesar 94,97 % dan 91,42 %, namun nilai CBR *Quarry* Palas lebih rendah dari *Quarry* Kulim. Hal ini terjadi karena nilai indeks plastisitas pada *Quarry* Palas lebih tinggi dari *Quarry* Kulim, sehingga nilai CBR semakin rendah. Indeks plastisitas tanah berpengaruh pada kekuatan tanah karena semakin tinggi indeks plastisitas tanah maka akan semakin turun daya dukung tanah tersebut.

Pengujian UCS Tanah

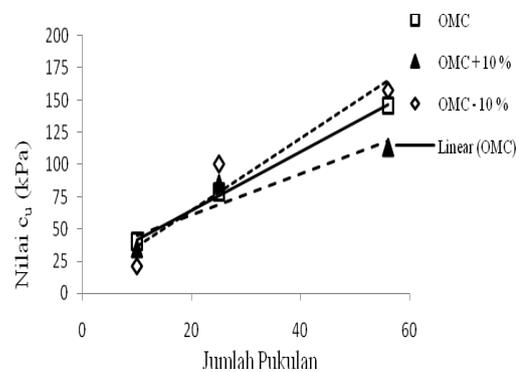
Pada penelitian ini sampel UCS diambil dari sampel CBR. Sampel CBR yang telah selesai diuji, dicetak ulang dengan menggunakan cetakan silinder dengan diameter sebesar 37,8 mm dan tinggi 76 mm. Pengujian UCS yang dilakukan sesuai dengan ASTM D-2166. Adapun hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 7, 8, dan 9.



Gambar 7. Nilai c_u tanah *Quarry* Garuda Sakti



Gambar 8. Nilai c_u tanah *Quarry* Kulim



Gambar 9. Nilai c_u tanah *Quarry* Palas

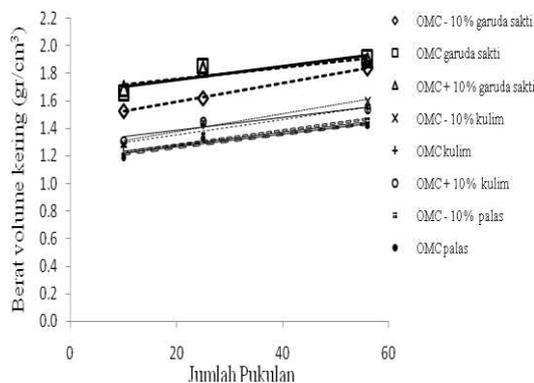
Berdasarkan Gambar 7, 8, dan 9 dapat disimpulkan bahwa nilai c_u *Quarry* Garuda Sakti merupakan nilai yang terkecil diantara ketiga *quarry* yaitu sebesar 16,29 kPa. Hal ini terjadi karena *Quarry* Garuda Sakti memiliki kadar lempung dan lanau yang sedikit, sehingga nilai c_u semakin kecil. Kadar lempung dan lanau berpengaruh kepada sifat kohesif tanah. Semakin sedikit kadar lempung dan lanau maka semakin kecil nilai kohesi tanah sehingga tanah lebih mudah runtuh.

Pada *Quarry* Kulim dan *Quarry* Palas sama-sama memiliki kadar lempung dan lanau yang banyak yaitu sebesar 94,97% dan 91,42%, namun nilai c_u *Quarry*

Palas lebih rendah dari pada *Quarry* Kulim. Hal ini terjadi karena nilai indeks plastisitas pada *Quarry* Palas lebih tinggi dari *Quarry* Kulim, sehingga nilai c_u *Quarry* Palas semakin rendah.

Pengaruh Jumlah Pukulan Terhadap Berat Volume Kering

Berdasarkan pengujian pemadatan yang dilakukan di dalam *mold* CBR, diperoleh berat volume kering dari tiap-tiap pengujian. Setiap sampel CBR dicari berat volume keringnya. Dalam pembahasan ini akan dianalisa pengaruh jumlah pukulan terhadap berat volume kering dari lokasi *Quarry* Garuda Sakti, Kulim, dan Palas. Adapun hubungan antara jumlah pukulan terhadap berat volume kering dapat digambarkan seperti yang terdapat pada Gambar 10.



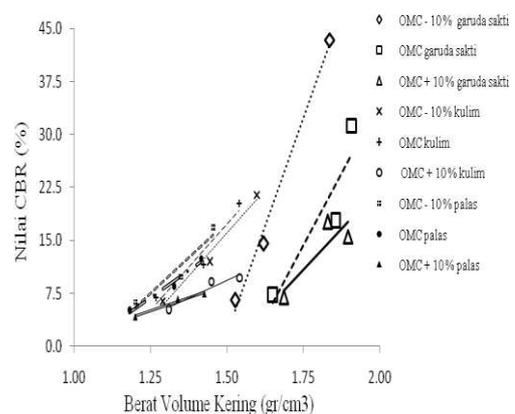
Gambar 10. Pengaruh jumlah pukulan terhadap berat volume kering

Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa ada penambahan berat volume kering terhadap peningkatan jumlah pukulan. Hal ini disebabkan karena semakin besar energi pemadatan maka akan

semakin padat tanah. Selain itu dapat dilihat juga berat volume yang paling kecil yaitu pada tanah *Quarry* Palas. Tanah *Quarry* Palas memiliki kadar lanau yang tinggi dan memiliki indeks plastisitas yang tinggi sehingga banyak menyerap air untuk mencapai kadar air optimum. Kadar air sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah. Banyaknya kadar air menyebabkan persentase butiran solid yang mengisi volume tanah menjadi berkurang, sehingga berat volume keringnya lebih kecil dibandingkan dengan tanah *Quarry* Garuda Sakti dan Kulim.

Pengaruh Berat Volume Kering Terhadap Nilai CBR

Selain menghubungkan berat volume kering dengan jumlah pukulan, pada pembahasan ini akan dianalisa juga pengaruh berat volume kering terhadap nilai CBR dari lokasi *Quarry* Garuda Sakti, Kulim, dan Palas. Adapun hubungan antara berat volume kering terhadap nilai CBR dapat digambarkan seperti yang terdapat pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengaruh berat volume kering terhadap nilai CBR

Hasil yang telah didapatkan menunjukkan adanya penambahan

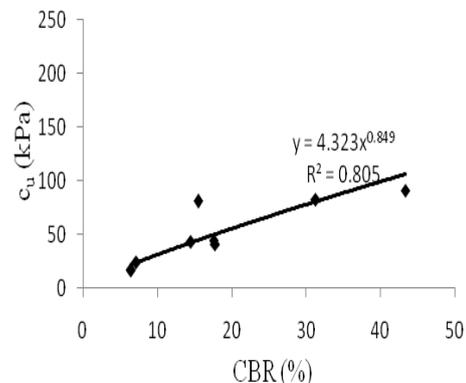
nilai CBR ketika berat volume keringnya naik. Semakin besar berat volume kering maka semakin besar juga nilai CBR.

Sesuai Gambar 11, *Quarry Garuda Sakti* menunjukkan bahwa semakin besar nilai berat volume kering maka semakin besar juga nilai CBR kecuali pada kondisi OMC + 10 %. Pada kondisi kadar air OMC - 10 % tanah mempunyai nilai CBR yang paling tinggi, namun nilai berat volume kering yang paling besar berada pada kondisi OMC. Pada *Quarry Kulim* dan *Palas* juga menunjukkan bahwa semakin besar nilai berat volume kering maka semakin besar juga nilai CBR. Pada kondisi kadar air OMC - 10 % tanah mempunyai nilai CBR dan nilai berat volume kering yang paling tinggi dibanding dengan kondisi OMC. Hal tersebut menunjukkan nilai CBR yang paling tinggi tidak berada pada kondisi OMC, melainkan pada kondisi OMC - 10 %. Hal ini disebabkan karena semakin kering tanah dari kondisi OMC maka tanah akan semakin keras, namun hal ini hanya terjadi jika kekeringan tanah tidak terlalu jauh dari nilai OMC.

Korelasi antara Nilai CBR Terhadap Nilai c_u

Berdasarkan hasil pengujian CBR dan UCS, maka dapat dibuat korelasi antara nilai CBR terhadap nilai c_u dari lokasi *Quarry Garuda Sakti*, *Kulim*, dan *Palas*, sehingga dapat dibuat suatu persamaannya. Pada pembahasan ini data *Quarry Garuda Sakti* digunakan untuk mewakili tanah yang banyak mengandung pasir. Adapun korelasi antara nilai CBR terhadap nilai c_u pada tanah *Quarry Garuda Sakti*

dapat digambarkan seperti yang terdapat pada Gambar 12.



Gambar 12. Korelasi antara nilai CBR terhadap nilai c_u pada tanah *Quarry Garuda Sakti*

Sesuai Gambar 12, didapat sebuah persamaan korelasi antara nilai CBR terhadap nilai c_u . Adapun persamaan tersebut yaitu $y = 4,323x^{0,849}$ dan $R^2 = 0,805$. Jadi persamaan korelasi antara nilai CBR dan UCS pada tanah yang banyak mengandung pasir yaitu:

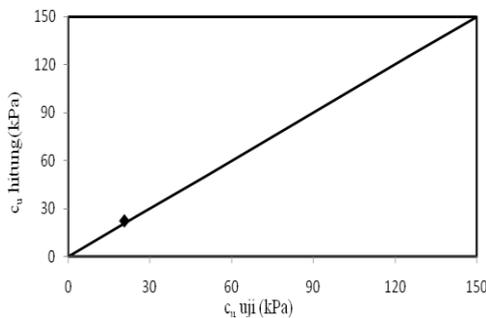
$$c_u = 4,323CBR^{0,849}$$

dimana:

c_u = nilai kuat geser (kPa)

CBR = nilai CBR (%)

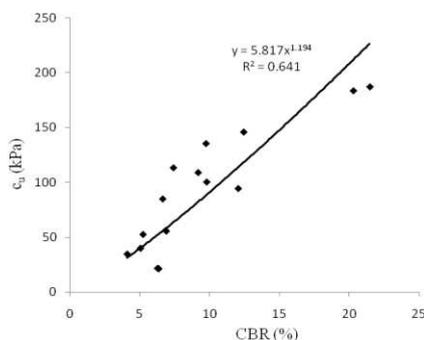
Untuk menguji validasi persamaan 4 yang didapat yaitu dengan mengambil salah satu nilai CBR dari data secara acak, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan yang ada, lalu dibandingkan dengan data yang didapat dari pengujian. Dengan memasukkan nilai CBR sebesar 6,92 % ke dalam persamaan sehingga didapat nilai c_u sebesar 22,35 kPa. Nilai c_u tersebut tidak terlalu jauh bedanya dengan nilai c_u pengujian yaitu 20,68 kPa, adapun besar perbedaannya yaitu 8 %. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Perbandingan antara nilai c_u hitung dan c_u uji pada *Quarry* Garuda Sakti

Sesuai Gambar 13 dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan nilai yang signifikan antara nilai c_u hitung dan c_u uji sehingga dapat disimpulkan tingkat validasi dari persamaan ini cukup tinggi. Persamaan ini hanya berlaku dengan batasan nilai CBR dan c_u paling besar yaitu 43,40 % dan 90,77 kPa, sedangkan CBR dan c_u paling kecil yaitu 6,49 % dan 16,29 kPa.

Untuk korelasi antara nilai CBR terhadap nilai c_u pada tanah *Quarry* Kulim dan Palas, datanya digabungkan menjadi satu untuk mewakili tanah lanau. Adapun korelasinya dapat digambarkan seperti yang terdapat pada Gambar 13.



Gambar 13. Korelasi antara nilai CBR terhadap nilai c_u pada tanah *Quarry* Kulim dan Palas

Sesuai Gambar 13, didapat sebuah persamaan korelasi antara nilai CBR terhadap nilai c_u . Adapun persamaan tersebut yaitu $y = 5,817x^{1,194}$ dan $R^2 = 0,641$. Jadi persamaan korelasi antara nilai CBR dan UCS yang mewakili tanah lanau yaitu:

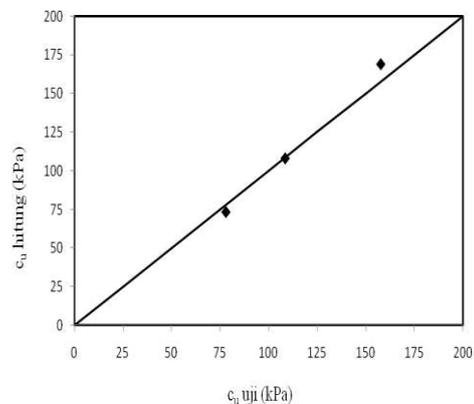
$$c_u = 5,817CBR^{1,194}$$

dimana:

c_u = nilai kuat geser (kPa)

CBR = nilai CBR (%)

Untuk menguji validasi persamaan 5 yang didapat yaitu dengan mengambil tiga nilai CBR dari data secara acak, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan yang ada, lalu dibandingkan dengan data yang didapat dari pengujian. Dengan memasukkan nilai CBR sebesar 11,59 %, 8,38 %, 16,83 % ke dalam persamaan sehingga didapat nilai c_u sebesar 108,40 kPa, 73,61 kPa, 169,28 kPa. Nilai-nilai c_u tersebut tidak terlalu jauh bedanya dengan nilai c_u pengujian yaitu 108,58 kPa, 78,07 kPa, 157,89 kPa. Adapun besar perbedaannya yaitu 0,2 %, 6 %, 7 %. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Perbandingan antara nilai c_u hitung dan c_u uji pada *Quarry* Kulim dan Palas

Sesuai Gambar 14 dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan nilai yang signifikan antara nilai c_u hitung dan c_u uji sehingga dapat disimpulkan tingkat validasi dari persamaan ini cukup tinggi. Persamaan ini hanya berlaku dengan batasan nilai CBR dan c_u paling besar yaitu 21,47 % dan 187,28 kPa, sedangkan CBR dan c_u paling kecil yaitu 4,09 % dan 21,17 kPa.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian *properties*, dapat disimpulkan bahwa *Quarry* Garuda Sakti merupakan tanah pasir berlempung-pasir berlanau (SC-SM), sedangkan tanah *Quarry* Kulim merupakan tanah lanau anorganik dengan plastisitas rendah (ML) dan tanah *Quarry* Palas merupakan tanah lanau anorganik dengan plastisitas tinggi (MH).
2. Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah (*Proctor Test*) diperoleh yaitu nilai OMC yang paling tinggi yaitu di lokasi *Quarry* Palas sebesar 28,00 %. Sedangkan nilai berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) yang paling tinggi yaitu di lokasi *Quarry* Garuda Sakti sebesar $1,92 \text{ gr/cm}^3$.
3. Berdasarkan hasil pengujian CBR dan UCS, nilai CBR dan c_u yang paling besar yaitu pada kondisi OMC – 10 %

dengan 56 pukulan. Hal ini berlaku untuk ketiga *Quarry* yaitu pada *Quarry* Garuda Sakti, *Quarry* Kulim, dan *Quarry* Palas. Dengan nilai CBR dan c_u sebesar 43,4 % dan 90,77 kPa pada *Quarry* Garuda Sakti, 21,47 % dan 187,28 kPa pada *Quarry* Kulim, 16,83 % dan 157,89 kPa pada *Quarry* Palas.

4. Berdasarkan pengujian CBR menunjukkan bahwa semakin besar berat volume kering maka semakin besar nilai CBR. Material *Quarry* Garuda Sakti memiliki nilai CBR paling tinggi pada kondisi OMC - 10 % tetapi berat volume paling tinggi pada kondisi OMC. Material *Quarry* Kulim dan Palas memiliki nilai CBR dan berat volume paling tinggi berada pada kondisi OMC - 10 %.
5. Berdasarkan korelasi antara nilai CBR dan nilai c_u didapat persamaan $c_u = 4,323\text{CBR}^{0,849}$ untuk *Quarry* Garuda Sakti dan $c_u = 5,817\text{CBR}^{1,194}$ untuk *Quarry* Kulim dan Palas.
6. Persamaan untuk *Quarry* Garuda Sakti hanya berlaku dengan batasan nilai CBR dan c_u paling besar yaitu 43,40 % dan 90,77 kPa, sedangkan CBR dan c_u paling kecil yaitu 6,49 % dan 16,29 kPa.
7. Persamaan *Quarry* Kulim dan Palas hanya berlaku dengan batasan nilai CBR dan c_u paling besar yaitu 21,47 % dan 187,28 kPa, sedangkan

CBR dan c_u paling kecil yaitu 4,09 % dan 21,17 kPa.

Daftar Pustaka

- Badaron. 2010. Hubungan nilai California Bearing Ratio terhadap nilai *cone* penetrasi pada tanah berbutir kasar. *Majalah Ilmiah Al-Jibra*, ISSN 1411-7797, Nomor 35, Volume 11, Agustus 2010.
- Bowles, J.E. 1984. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Bretyndah. 1991. Korelasi antara tegangan geser dan nilai CBR pada tanah lempung ekspansif dengan bahan campuran. *Jurnal Sipil Statik*, Nomor 6, Volume 1, Mei 2013.
- Das, Braja M, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar. 1993. *Mekanika Tanah I (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar. 1993. *Mekanika Tanah II (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Surabaya: Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1992. *Mekanika tanah I*. Jakarta: Gramedia.
- Hendarsin, Shirley L. 2000. *Perencanaan Teknik Jalan Raya*. Bandung: Poltek Negri.
- Iqbal. 2014. Pengaruh kadar lempung dan kadar air pada sisi basah terhadap nilai CBR pada tanah lempung kepasiran. Universitas Riau, 2014.
- Lab.Mektan UR . 2009. *Panduan Praktikum Mekanika Tanah I*. Pekanbaru: Lab.Mektan UR.
- Seta. 2006. Perilaku tanah ekspansif yang dicampur dengan pasir untuk *subgrade*. Universitas Diponegoro, 2006.
- Soegondo. 2004. Korelasi nilai CBR tanah kelepungan dengan kokoh geser *undrained*. Universitas Kristen Petra, 2004.
- Suardi. 2005. Kajian kuat tekan bebas tanah lempung yang distabilisasi dengan aditive semen dan kapur. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, Nomor 1, Volume 1, Oktober 2005.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Smith, M.J. & Madyayanti, E. 1992. *Mekanika Tanah (Seri Pedoman Goowin), edisi keempat*. Jakarta: Erlangga