

**ANALISIS DERAJAT KEPADATAN LAPANGAN
CEMENT TREATED RECYCLING BASE METODE SAND CONE
(STUDI KASUS PENINGKATAN JALAN LINGKAR LUAR MUARA TEWEH)**

Bambang Raharmadi

Pegawai Negeri Sipil
Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII
Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

ABSTRAK

Cement Treated Recycling Base (CTRB) adalah stabilisasi dengan sistem daur ulang pada perkerasan jalan lama yang kondisinya telah mengalami penurunan nilai konstruksi (rusak) ditambah bahan semen yang berfungsi sebagai lapisan perkerasan pondasi jalan. *CTRB* mempunyai peranan yang sangat penting untuk mendukung struktur jalan dimana fungsinya sebagai meneruskan beban struktur maupun non struktur dari atas. Untuk mencapai lapis pondasi perkerasan jalan yang kuat dan stabil diperlukan hasil pemadatan yang memenuhi persyaratan spesifikasi teknik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perkerasan jalan lama/*existing* yang distabilisasi dengan semen 7% (*CTRB*) agar dapat digunakan sebagai lapis pondasi perkerasan jalan dan untuk mengetahui derajat kepadatan lapangan yang sesuai dengan syarat teknik.

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mencampur bahan material jalan lama/*existing* dengan kadar semen 7% terhadap berat kering untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanik dengan melakukan pengujian gradasi butiran, batas-batas *Atterberg*, pemadatan *modified* di laboratorium dan percobaan pemadatan lapangan serta pengujian kepadatan lapangan dengan *Sand Cone* pada sta. 0+250 s/d sta. 0+270, sta. 0+270 s/d sta. 0+290 dan sta. 0+290 s/d sta. 0+310.

Hasil uji material *Cement Treated Recycling Base (CTRB)* terhadap uji gradasi ukuran butir menunjukkan kesesuaian terhadap syarat yang diijinkan yaitu : agregat kasar 57,84%, agregat sedang 26,08%, agregat halus 16,09% dengan yang tertahan # no. 200 = 11,93% dan lolos # no. 200 = 4,16%, termasuk kelompok *CL-ML* yaitu lanau tak organik, lempung kepasiran dengan plastisitas rendah berdasarkan klasifikasi tanah sistem *USCS* sedangkan menurut klasifikasi tanah sistem *AASHTO* termasuk pada kelompok *A-4* yaitu tanah lempung lanau dengan plastisitas rendah dengan batas-batas *Atterberg* yaitu : batas cair 17,20 %, batas plastis 10,91 % dan indeks plastisitas $6,29\% \leq 10\%$ syarat yang ditentukan. Kepadatan *CTRB* laboratorium dengan berat volume kering maksimum (γ_{dmax}) *CTRB* 1,995 t/m³, dengan kadar semen 7 % dan kadar air optimum (W_{opt}) 9,50 % .

Dari hasil test pit dan kepadatan *CTRB* di lapangan menggunakan pengujian pemadatan metode *sand cone* didapat hasil sebagai berikut :

1. Segmen I dengan jumlah 11 kali lintasan didapat tebal padat 30,7 cm dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) sebesar 1,963 t/m³ dengan derajat kepadatan 98,38% > 95% maksimum kepadatan kering yang disyaratkan.
2. Segmen II dengan jumlah 12 kali lintasan didapat tebal padat 30,3 cm dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) sebesar 2,002 t/m³ dengan derajat kepadatan 100,35% > 95% maksimum kepadatan kering yang disyaratkan
3. Segmen III dengan jumlah 13 kali lintasan didapat tebal padat 29,2 cm dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) sebesar 2,048 t/m³ dengan derajat kepadatan 102,65% > 95% maksimum kepadatan kering yang disyaratkan.

Kata Kunci : Derajat Kepadatan, CTRB, Sand Cone

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Jalan Lingkar Luar Muara Teweh merupakan jalur lingkar luar kota yang mempunyai peranan sangat strategis dan ekonomis yang bertujuan untuk mengoptimalkan fungsi ruas jalan yang sudah terkoneksi dengan jalan kabupaten maupaun jalan nasional dari pusat produksi ke luar daerah dalam rangka pemasaran hasil-hasil perkebunan maupun tambang batu yang dikelola oleh masyarakat setempat.

Kondisi Lapis perkerasan permukaan jalan lama beraspal *HRS WC* dan Lapen yang sudah mencapai akhir umur rencana, banyak terdapat kerusakan-kerusakan seperti alur (*rutting*), retak-retak, gelombang dan pelepasan butir (*ravelling*) dikarenakan lapis pondasi jalan diperkirakan sudah mengalami penurunan kekuatan struktur sehingga memerlukan peningkatan/ penanganan. Selama ini perbaikan atau peningkatan jalan hanya dilakukan dengan pelapisan ulang pada perkerasan lama (*overlay*) sehingga menambah elevasi jalan dan apabila dilakukan terus menerus akan menambah ketebalan lapis pekerasan yang berakibat terganggunya sistim drainase, ketinggian bahu jalan, dan median/kerb jalan.

Salah satu upaya alternatif untuk memperbaiki kerusakan perkerasan jalan lama adalah dengan memanfaatkan teknologi *recycling* atau daur ulang yang akan mengurangi pemakaian material baru, perlindungan sumber daya alam, penghematan sumber daya dan penghematan biaya konstruksi. *Cement Treated Recycling Base (CTRB)* adalah teknologi stabilisasi pondasi jalan dengan sistem daur ulang campuran pada perkerasan jalan lama yang

telah rusak ditambah bahan semen sehingga dapat dipergunakan kembali sebagai pondasi perkerasan jalan dengan nilai struktur yang lebih tinggi.

Lapisan perkerasan pondasi jalan sangat penting peranannya dalam mendukung struktur jalan yang berfungsi sebagai meneruskan beban dari atas dan harus benar-benar kuat dan stabil terhadap beban struktur maupun non struktur. Untuk mencapai lapis pondasi perkerasan jalan yang kuat dan stabil diperlukan hasil pemadatan yang memenuhi persyaratan spesifikasi teknik.

Pemadatan adalah peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis. Pertambahan berat volume kering sebagai akibat merapatnya partikel tanah yang diikuti dengan berkurangnya volume udara pada volume air tetap. Pemadatan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya.

Karena itu, jika kepadatan lapis pondasi jalan raya seperti Lapis Pondasi Atas tidak mencapai tingkat kepadatan yang dipersyaratkan akan berpotensi lebih cepat mengalami kerusakan. Bahkan akibat kerusakan dapat mempengaruhi Lapis Permukaan. Menurut Spesifikasi Khusus *CTRB* dan *CTRSB*, kepadatan *CTRB* dan *CTRSB* setelah pemadatan harus mencapai kepadatan kering lebih dari 95% maksimum kepadatan kering sebagai ditentukan pada SNI 03-688-2002. Dimana, kepadatan lapangan merupakan berat isi kering *CTRB* yang diperoleh dari pengujian kerucut pasir (*sand cone*) sedangkan kepadatan laboratorium adalah berat isi kering *CTRB* yang didapatkan dari hasil pengujian pemadatan.

Kepadatan *CTRB* berpengaruh besar pada kuat geser atau kapasitas dukungnya dan ini ditentukan

oleh kadar air, bila kadar air semakin tinggi, maka kapasitas dukung *CTRB* semakin rendah. Sebaliknya bila *CTRB* semakin padat, maka akan semakin kuat atau kapasitas dukung tinggi.

Perumusan Masalah

Penelitian ini lebih di fokuskan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pemadatan di lapangan terhadap perkerasan jalan lama/existing yang sudah distabilisasi dengan semen 7% (*CTRB*) agar dapat digunakan sebagai lapis pondasi atas perkerasan jalan yang memenuhi syarat teknis.

Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

- 1 Untuk mengetahui perkerasan jalan lama/existing yang distabilisasi dengan semen 7% (*CTRB*) dapat digunakan sebagai lapis pondasi atas perkerasan jalan yang memenuhi syarat teknis.
- 2 Mengetahui derajat kepadatan lapangan yang sesuai dengan syarat teknis.

Manfaat

Dengan melakukan penyusunan makalah ini diharapkan dapat bermanfaat dan berguna, baik secara teoritis maupun praktis, yaitu :

- a. Secara teoritis
 1. Menambah pengetahuan tentang *CTRB* di Paket Peningkatan Jalan Lingkar Luar Kota Muara Teweh.
 2. Menambah bahan rujukan yang dapat dijadikan penyusunan makalah lebih lanjut.
- b. Secara praktis
 1. Hasil penyusunan makalah ini diharapkan dapat bermanfaat di Paket Peningkatan Jalan

Lingkar Luar Kota Muara Teweh sebagai bahan pertimbangan pekerjaan selanjutnya.

2. Hasil penyusunan makalah ini diharapkan bermanfaat sebagai bahan pertimbangan pekerjaan di daerah lain.

KAJIAN PUSTAKA

Landasan Teori

Cement Treated Recycling Base (CTRB) adalah teknologi stabilisasi pondasi jalan dengan sistem daur ulang pada perkerasan jalan lama yang telah rusak ditambah bahan semen sehingga dapat dipergunakan kembali sebagai pondasi perkerasan jalan dengan nilai struktur yang lebih tinggi.

Menurut Hardiyatmo (2010), Stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah atau sering juga disebut stabilisasi kimiawi bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, dengan cara mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu.

a. Sistem klasifikasi tanah yang sering digunakan dalam bidang teknik sipil adalah sebagai berikut :

- 1) Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)*.

Sistem ini diperkenalkan oleh Cassagrande tahun 1942 yang selanjutnya disempurnakan oleh *Unites States Bureau Of Reclamation (USBR)* tahun 1952. Sistem ini mengelompokkan tanah dalam dua kelompok besar, yaitu:

- a. Tanah Berbutir Kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan nomer 200. Simbol kelompok ini adalah :

- G = untuk tanah berkerikil (*Gravel*)
- S = untuk tanah berpasir (*sand*)
- W = untuk tanah bergradasi baik (*well graded*)
- P = untuk tanah bergradasi buruk (*poorly graded*)

b. Tanah Berbutir Halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan nomor 200. Simbol kelompok ini adalah :

- M = untuk lanau (*silt*) anorganik
- C = untuk lempung (*clay*) anorganik
- O = untuk lanau-organik dan lempung-organik
- L = plastisitas rendah ($LL < 50$) (*low plasticity*)
- H = plastisitas tinggi ($LL > 50$) (*high plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem *Unified* (Hardiyatmo, 2006) adalah sebagai berikut:

1. Tentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar :
 - a. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Tentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
 - c. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik

distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no. 200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan ($GW-GM$, $SW-SM$, dan sebagainya).

d. Jika persentase butiran yang lolos saringan no. 200 lebih besar 12%, harus dilakukan batas-batas *Atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM , GC , SM , $GM-GC$ atau $SM-SC$).

3. Jika tanah berbutir halus :

- a. Kerjakan uji batas-batas *Atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Jika batas cair lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50%, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
- b. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh diatas garis A, klasifikasikan sebagai CH .
- c. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya

dengan mengeringkannya didalam oven.
 d. Jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik

plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai *LL* sekitar 50, gunakan simbol dubel.

Cara menentukan klasifikasi tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System* seperti pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah Sistem *USCS*

Field identification procedures (Excluding particles larger than 75mm and being fractions on estimated weights)		Group symbols	Typical names	Information required for describing soils	Laboratory classification criteria
Coarse grained soils More than half of material is larger than 75mm sieve size. Gravels More than half of coarse fraction is larger than 2.0mm. Sands More than half of coarse fraction is smaller than 2.5mm.	Clean gravels (little or no fines) Gravelly sands (little or no fines)	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	Give typical names; indicate approximate percentages of sand and gravel; maximum size; angularity, surface condition, and hardness of the coarse grains; local or geological name; use other pertinent descriptive information and symbol in parentheses. For undisturbed soils add information on stratification, degree of compaction, cementation, moisture conditions and drainage characteristics. Example: Silty sand, gravelly, about 20% hard angular gravel particles, 75-mm maximum size, rounded and subangular sand grains coarse to fine, about 15% non-plastic fines with low dry strength; well compacted and moist in place; alluvial sand (SM)	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Greater than 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3 Not meeting all gradation requirements for GW <i>Atterberg limits</i> below "A" line or <i>PI</i> less than 4 <i>Atterberg limits</i> above "A" line with <i>PI</i> greater than 7 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Greater than 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3 Not meeting all gradation requirements for SW <i>Atterberg limits</i> below "A" line or <i>PI</i> less than 4 <i>Atterberg limits</i> above "A" line with <i>PI</i> greater than 7
	Gravelly silts (little or no sand) Silty sands (little or no fines)	GM	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines		
	Clayey gravels (more than 10% clay) Gravelly silts (more than 10% silt)	GC	Silty gravels, poorly graded gravel-sand-silt mixtures		
	Clayey sands (more than 10% clay) Silty sands (more than 10% silt)	SW	Clayey gravels, poorly graded gravel-sand-clay mixtures		
	Well-graded sands (little or no fines) Poorly graded sands (little or no fines)	SP	Well-graded sands, gravelly sand, little or no fines		
	Clayey silts (more than 10% clay) Silty silts (more than 10% silt)	SM	Poorly graded sands, gravelly sand, little or no fines		
Fine grained soils More than half of material is smaller than 75mm sieve size. Silts and clays (liquid limit less than 50) Silts and clays (liquid limit greater than 50)	Dry strength (cracking character, intact) Shrinkage (consistency near plastic limit)	ML	Inorganic silts and very fine sands; rock flour, silty or clayey fine sands with slight plasticity; inorganic clays of low to medium plasticity, sandy clays, lean clays	Give typical name; indicate degree and character of plasticity, maximum and minimum size of coarse grains; colour in wet condition; colour if any; local or geological name, and other pertinent descriptive information, and symbol in parentheses. For undisturbed soils add information on structure, stratification, consistency and undisturbed and unconsolidated state, moisture and drainage conditions. Example: Clayey silt, brown; slightly plastic; small percentage of fine sand; numerous vertical root holes; firm and dry in places; loess (ML)	
	None to slight Medium to high Slight to medium Slight to medium High to very high Medium to high	Quick to slow None to very slow Medium Slight to medium None High None to very high Slight to medium	CL, CI OL MH CH OH		
	Readily identified by colour, colour, spongy feel and frequently by fibrous texture	PI	Peat and other highly organic soils		

Sumber: Hendarsin (2000)

2) Sistem Klasifikasi Tanah *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)*

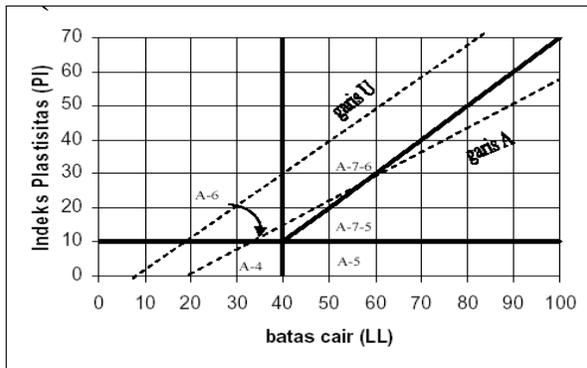
Sistem klasifikasi *AASHTO* membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan hanya analisis saringan dan batas-batas *Atterberg*.

Indeks kelompok dihitung dengan Persamaan 2.1 berikut :

$$GI = (F - 35)(0,2 + 0,005(LL - 40) + 0,01(F - 15)(PI - 10)) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:
GI = indeks kelompok (*group index*)
F = persen material lolos saringan no. 200
LL = batas cair
PI = indeks plastisitas
 Bila nilai indeks kelompok (*GI*) semakin tinggi, makin berkurang ketepatan penggunaan tanahnya. Tanah granular diklasifikasikan ke

dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. tanah A-1 granular yang bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granular (kurang dari 35% lewat saringan no. 200), tetapi masih terdiri atas lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau. Perbedaan keduanya berdasarkan pada batas-batas Atterberg seperti pada Gambar 2.1 berikut:

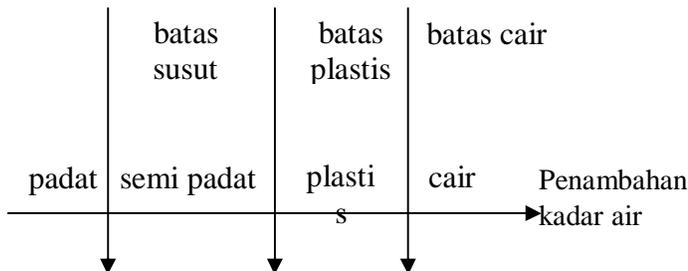


Sumber : Hardiyatmo (1996)

Gambar 2.1 Nilai-nilai Batas-batas Atterberg Untuk Sub kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7

b. Batas – batas Konsistensi

Batas konsistensi adalah kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu. Konsistensi tergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif ditunjukkan dalam Gambar 2.2 berikut:



Sumber : Hardiyatmo (1996)

Gambar 2.2 Keadaan-keadaan Konsistensi Tanah

Cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut yaitu :

a. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*LL*), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Persentase kadar air dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan, sesudah 25 kali pukulan didefinisikan sebagai batas cair tanah tersebut (Hardiyatmo, 1996).

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*).

Batas plastis (*PL*), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air di mana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung (Hardiyatmo, 1996).

c. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (*PI*) adalah selisih batas cair dan batas plastis (Hardiyatmo, 1996) dengan Persamaan 2.2 berikut :

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.2)$$

Indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah dan kohesif oleh Atterberg terdapat dalam Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas rendah	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber: Hardiyatmo (1996)

Menurut Hicks (2002), distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg digunakan sebagai dasar

penilaian macam stabilisasi yang akan digunakan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Petunjuk Awal Untuk Pemilihan Metode Stabilisasi.

Material lolos Saringan no.200	> 25% lolos saringan No. 200 (0,075 mm)			< 25% lolos saringan No. 200 (0,075 mm)		
	≤ 10	10 – 20	≥ 20	≤ 6 ($PI \times$ persen lolos saringan no.200 ≤ 6)	≤ 10	≥ 10
Indeks Plastisitas <i>PI</i> (%)						
Bentuk stabilisasi :						
Semen dan campuran pengikat	Cocok	Ragu	Tidak cocok	Cocok	Cocok	Cocok
Kapur	Ragu	Cocok	Cocok	Tidak cocok	Ragu	Cocok
Aspal (bitumen)	Cocok	Ragu	Tidak cocok	Cocok	Cocok	Ragu
Aspal/semen dicampur	Cocok	Ragu	Tidak cocok	Cocok	Cocok	Ragu
Granular	Cocok	Tidak Cocok	Tidak cocok	Tidak cocok	Cocok	Ragu
Lain-lain campuran	Tidak cocok	Cocok	Cocok	Tidak cocok	Ragu	Cocok

Sumber: Hardiyatmo (2010)

Petunjuk dari Tabel 2.3 hanya sebagai pertimbangan awal, dan dapat digunakan untuk maksud modifikasi tanah, seperti: stabilisasi dengan kapur untuk membuat material lebih kering dan mengurangi plastisitasnya sedangkan menurut Spesifikasi Khusus *CTRB dan CTRSB* (2010) nilai plastisitas indek (*PI*) maksimum sebesar 10%.

c. Pengujian Distribusi Ukuran Butir

Distribusi ukuran butir adalah pengelompokan besar butir analisa agregat kasar dan agregat halus menjadi komposisi gabungan yang ditinjau berdasarkan saringan.

Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pelaksanaan Daur Ulang Perkerasan Jalan dengan Semen Dicampur Di tempat (2010), gradasi campuran ukuran butir yang disyaratkan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Gradasi Campuran Daur Ulang + Semen Untuk *CTRB* dan *CTRSB*

Ukuran Saringan	Persen Berat Yang Lolos Saringan	
	Lapis Pondasi (<i>CTRB</i>)	Lapis Pondasi Bawah (<i>CTRSB</i>)
2" (50,00 mm)		100
1 ½" (37,50 mm)	100	88 – 95
1" (25,00 mm)	79 – 85	70 – 85
¾" (9,500 mm)	44 – 58	30 – 65
No. 4 (4,750 mm)	29 – 44	25 – 55
No. 10 (2,000 mm)	17 – 30	15 – 40
No. 40 (0,425 mm)	7 – 17	8 – 20
No. 200 (0,075 mm)	2 – 8	2 – 8

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2010)

d. Pengujian Pemadatan di Laboratorium

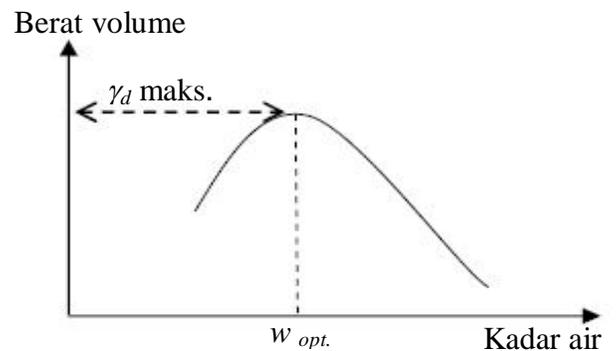
Pemadatan adalah suatu proses memadatnya partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Kepadatan tanah tergantung banyaknya kadar air, jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan keras begitu pula sebaliknya bila kadar air banyak maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Pemadatan yang dilakukan pada saat kadar air lebih tinggi daripada kadar air optimumnya akan memberikan pengaruh terhadap sifat tanah. Tujuan pemadatan tanah adalah memadatkan tanah pada kadar air optimum dan memperbaiki karakteristik mekanisme tanah. Maksud pemadatan tanah (Hardiyatmo, 1996) adalah sebagai berikut:

- a. Mempertinggi kuat geser tanah.
- b. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas).
- c. Mengurangi permeabilitas.
- d. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

Pemadatan tanah dapat dilaksanakan di lapangan maupun di laboratorium. Dilapangan biasanya tanah akan digilas dengan mesin penggilas yang didalamnya terdapat alat penggetar, getaran akan menggetarkan tanah sehingga terjadi pemadatan.

Sedangkan dilaboratorium menggunakan pengujian berat (*modified*), yang disebut dengan uji *Proctor*, dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa lapisan tanah di dalam sebuah *mold*. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini, maka akan terdapat hubungan antara kadar air dengan berat volume. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya, hubungan berat volume kering (γ_d), berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w) dinyatakan dengan Persamaan 2.3 dan Gambar 2.3 berikut :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \dots\dots\dots (2.3)$$



Sumber : Hardiyatmo (1996)

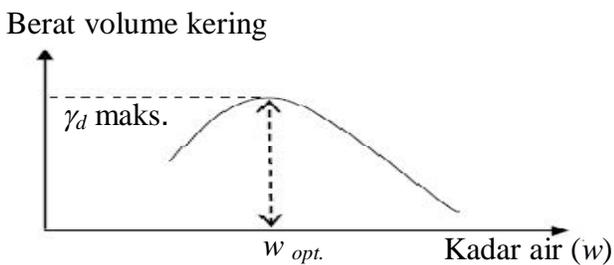
Gambar 2.3 Hubungan Antara Kadar Air dan Berat Volume Tanah(γ_d maks)

Untuk mengetahui kadar air yang optimum pada tanah, maka dilakukan pengujian pemadatan,

pengujian tersebut dilakukan dengan pemadatan sampel tanah basah (pada kadar air terkontrol) dalam suatu cetakan dengan jumlah lapisan tertentu. Setiap lapisan dipadatkan dengan sejumlah tumbukan yang ditentukan dengan penumbuk dengan massa dan tinggi jatuh tertentu. Apabila diketahui berat tanah basah didalam cetakan yang volumenya diketahui, maka berat isi basah dapat langsung dihitung dengan Persamaan 2.4 berikut :

$$\gamma_b = \frac{W_w + W_s}{V} \dots\dots\dots (2.4)$$

γ_b adalah perbandingan berat tanah basah dalam cetakan dengan volume cetakan, kadar air diperoleh dari tanah yang dipadatkan. Untuk tanah berbutir halus dalam mendapatkan kadar air optimum digunakan batas plastisnya. Buat kurva hubungan antara kadar air (w) sebagai absis dan berat volume tanah kering sebagai ordinat, puncak kurva sebagai nilai γ_d (maksimum), kurva yang digunakan adalah kurva dari uji pemadatan tanah (*Proctor*). Dari titik puncak dit ditarik garis vertikal memotong absis, pada titik ini adalah kadar air optimum seperti pada Gambar 2.4 berikut :



Sumber : Hardiyatmo (1996)

Gambar 2.4 Hubungan Antara Kadar Air dan Berat Volume Tanah(kadar air optimum)

e. Pengujian Pemadatan di Lapangan

Uji sandcone dilakukan untuk menentukan kepadatan tanah di lapangan (γ_d) dan derajat kepadatan tanah dari tanah yang telah dipadatkan sebagai evaluasi hasil pekerjaan pemadatan. Nilai berat isi tanah kering yang diperoleh dari percobaan ini biasanya digunakan untuk mengevaluasi hasil perkerjaan pemadatan di lapangan (*degree of compaction*) yaitu perbandingan antara γ_d (kerucut pasir) dengan γ_{dmax} hasil percobaan pemadatan di laboratorium. Untuk mengetahui kepadatan di lapangan diukur dari derajat kepadatannya yang merupakan hasil perbandingan kepadatan di lapangan dan kepadatan di laboratorium minimal mencapai 95% (Spesifikasi Khusus *CTRB* dan *CTRSB*, 2010).

Pemadatan *CTRB* dan *CTRSB* harus telah dimulai dilaksanakan paling lambat 60 menit semenjak pencampuran material dengan air atau harus telah selesai dalam waktu 120 menit semenjak semen di campur air dan campuran yang telah dihampar tidak boleh dibiarkan tanpa dipadatkan dari 30 menit. Kadar air pada waktu pemadatan minimal sama dengan kadar air optimum dan maksimal sama dengan kadar air optimum + 2% (Spesifikasi Khusus *CTRB* dan *CTRSB*).

Untuk menghitung derajat kepadatan akan dihitung dengan persamaan 2.5 berikut :

$$R = \frac{\gamma_d \text{ lapangan}}{\gamma_d \text{ lab.}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana, $\gamma_d \text{ lapangan}$ adalah berat isi kering lapangan dan $\gamma_d \text{ lab}$ adalah berat isi kering dilaboratorium dan R adalah derajat kepadatan minimal mencapai 95%.

2.1 Studi Pustaka

Penelitian-penelitian tentang derajat kepadatan lapis pondasi telah banyak dilakukan sebelumnya lainnya, seperti yang dilakukan oleh :

- a. Uralia Hustim (2002) melakukan penelitian Tesis dengan judul “*Pengaruh Variasi Gradasi dan Tingkat Kepadatan Terhadap Nilai Koefisien Drainase dan Koefisien Kekuatan Relatif dari Lapis Agregat*”.

Jenis lapis perkerasan yang menjadi obyek studi adalah campuran lapis pondasi atas (LPA) dan material batu pecah dan Lapis Pondasi Bawah (LPB) dan material sirtu.

Hasil pengujian pemadatan memperlihatkan bahwa nilai berat isi kering maksimum ($\gamma_d maks$) tertinggi terjadi pada gradasi batas tengah dengan nilai $\gamma_d maks = 2,108$ gr/cc untuk LPA dan 2,038 gr/cc untuk LPB. Demikian juga pada pengujian CBR, dengan CBR = 93,70% untuk LPA dan 76,50% untuk LPB.

- b. Denny M, M. Idham dan Hendra S (2012) melakukan penelitian dengan judul “*Analisa Derajat Kepadatan Timbunan Lapis Pondasi dan Propertis Agregat (Studi Kasus Jalan Sultanah Agung Latifah-Bunga Raya)*”

Penelitian ini dilatarbelakangi bahwa jalan yang ada pada daerah Sultanah Agung Latifah-Bunga Raya merupakan rintisan baru yang dibangun oleh Pemerintah Kabupaten Siak, karena dengan adanya jalan tersebut dapat membantu masyarakat dalam bertransportasi.

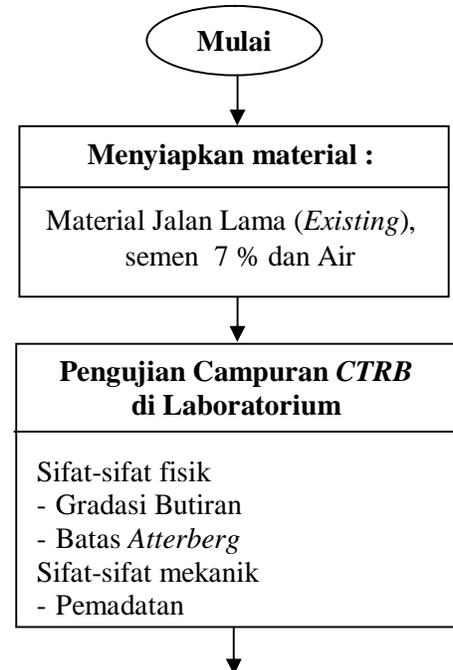
Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap kepadatan timbunan dan properties Lapis Pondasi Agregat pada jalan Sultanah Agung Latifah-Bunga Raya adalah derajat kepadatan yang diperoleh dari

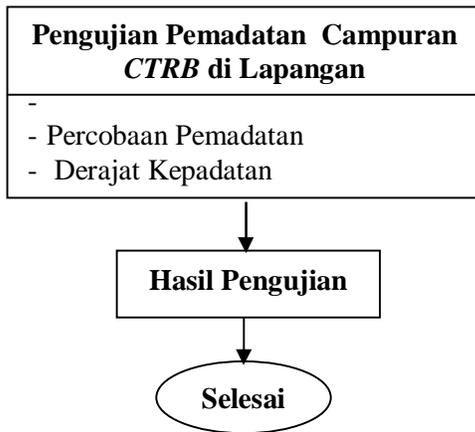
hasil pengujian di lapangan dengan menggunakan *sand cone* didapat nilai kepadatan pada lengan kiri rata-rata 92%. Sedangkan untuk lengan kanan rata-rata tiap titik dari STA 00+150 yaitu 92%. Dari hasil pengujian *sand cone* lengan kanan dan lengan kiri di dapat nilai yang sama yaitu 92%, artinya timbunan *base* lengan kiri dan kanan memiliki kepadatan yang sama.

Kemudian pada pengujian berat isi kering maksimum $\gamma_d maks$ diperoleh untuk jalan lengan kanan yaitu sebesar 2,125gr/cm³dengan nilai *OMC* (*Optimum Moisture Content*) adalah 8,73%. Untuk pengujian jalan lengan kiri, berat isi kering maksimum $\gamma_d maks$ adalah 2,142 dan *OMC* adalah 8,18%.

METODE PENELITIAN

Pengujian dilakukan terhadap material jalan lama (*existing*) dalam kondisi terganggu (*disturbed*) distabilisasi dengan semen 7%. Tahapan penelitian terhadap pengujian dilaksanakan sesuai dengan bagan alir seperti pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

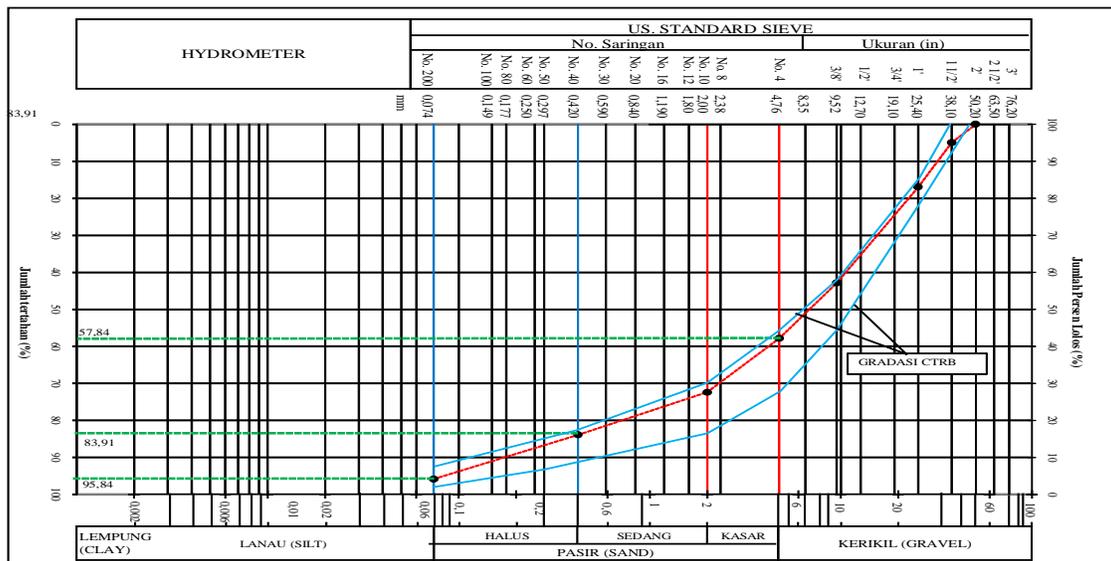
Dalam makalah ini meneliti terhadap material jalan lama (*existing*) dalam kondisi terganggu (*disturbed*) distabilisasi dengan semen 7%. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi 2 (dua) kelompok utama yaitu uji sifat fisik dan sifat mekanis material *CTRB* di

laboratorium dan percobaan pemadatan untuk mengetahui derajat kepadatan di lapangan dengan *Method Sand Cone*.

4.1 Analisis Karakteristik *CTRB* di Laboratorium

a. Analisa Saringan

Gradasi ukuran butir material *CTRB* sangat penting dan salah satu faktor yang mempengaruhi terhadap kekuatan dan kepadatan. Berdasarkan hasil analisis uji distribusi ukuran butir menunjukkan kesesuaian terhadap syarat yang diijinkan (Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pelaksanaan Daur Ulang Perkerasan Jalan dengan Semen Dicampur Di tempat, Kementerian Pekerjaan Umum). Hasil plot dalam satu grafik logaritmik terlihat tren persentasi dari ukuran butir material yang seperti pada Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Hasil Uji Distribusi Ukuran Butir *CTRB*

Didapat komposisi butiran adalah :

- Agregat Kasar = 57,84 %
- Agregat Sedang = 26,08 %
- Agregat Halus = 16,09 %
- Tertahan # 200 = 11,93 %

Lolos # 200 = 4,16 %

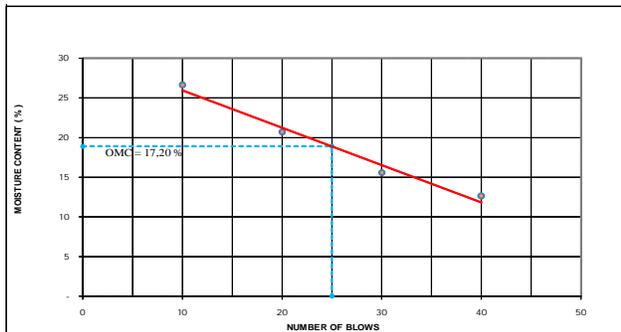
b. Batas-Batas Atterberg

Dari analisis pengujian Batas Atterberg *CTRB* didapat hasil sebagai berikut :

- Batas Cair (*LL*) = 17,20 %

- Batas Plastis (PL) = 10,91 %
- Indek Plastisitas (PI) = 6,29 %

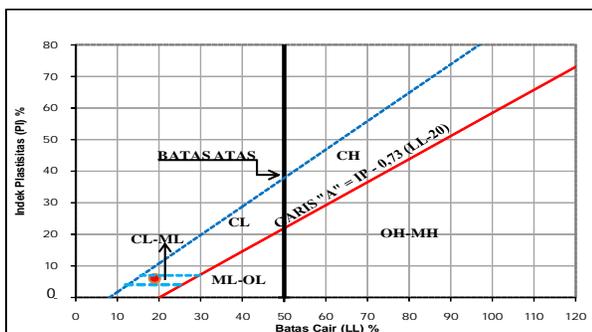
Hasil dari pengujian Batas Cair diplot dalam grafik didapat hasil seperti Gambar 4.2 sebagai berikut :



Gambar 4.2 Hasil Pengujian Batas Cair *CTRB*

Menurut batas-batas *Atterberg CTRB* ini termasuk golongan plastisitas rendah karena *Plasticity Index (PI)* $6,29\% \leq 10\%$ syarat yang ditentukan (*Hicks 2002* dan Spesifikasi Khusus *CTRB* dan *CTRSB*).

Klasifikasi Tanah Sistem *USCS* berdasarkan hasil batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI), yang diplotkan dengan diagram plastisitas, termasuk pada kelompok *CL-ML* yaitu lanau tak organik, lempung kepasiran dengan plastisitas rendah dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut :

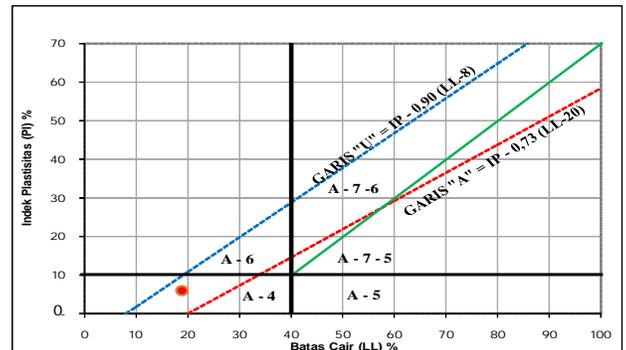


Sumber : Hendarsin (2000)

Gambar 4.3 Diagram Plastisitas Tanah Berbutir Halus Sistem *USCS*

Berdasarkan Klasifikasi Tanah Sistem *AASHTO* dan hasil pengujian batas cair (LL) serta

indek plastisitas (PI), yang diplotkan dengan diagram plastisitas, termasuk pada kelompok *A-4* yaitu lempung lanau dengan plastisitas rendah dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut :

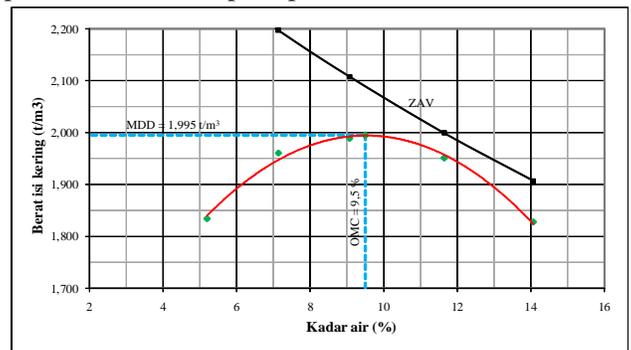


Sumber : Hardiyatmo (1996)

Gambar 4.4 Nilai-nilai Batas *Atterberg* untuk Sub kelompok *A-4*, *A-5*, *A-6* dan *A-7*

c. Pemadatan

Hasil analisis uji pemadatan dengan metode pemadatan berat seperti pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Hasil Pengujian Pemadatan

Berat volume kering maksimum (γ_{dmax}) dari *CTRB* $1,995 \text{ t/m}^3$, dengan kadar semen 7% dan kadar air optimum (W_{opt}) 9,50% .

4.2 Analisis Karakteristik *CTRB* di Lapangan

a. Percobaan Pemadatan

Pemadatan di lapangan adalah usaha berapa jumlah lintasan yang dibutuhkan untuk memadatkan suatu material dengan alat pemadat tertentu agar dapat diperoleh derajat kepadatan yang disyaratkan spesifikasi teknis.

Pemadatan *CTRB* dan *CTRSB* harus telah dimulai dilaksanakan paling lambat 60 menit semenjak pencampuran material dengan air atau harus telah selesai dalam waktu 120 menit semenjak semen di campur air dan campuran yang telah

dihampar tidak boleh dibiarkan tanpa dipadatkan dari 30 menit (Spesifikasi Khusus *CTRB* dan *CTRSB*).

Pada percobaan pemadatan (*Trial Compaction*) ini dibagi 3 (tiga) segmen jumlah variasi lintasan dapat di lihat seperti Tabel 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Segmen Percobaan Pemadatan

Segmen I	Segmen II	Segmen II
Sta. 0+250 s/d Sta. 0+270	Sta. 0+270 s/d Sta. 0+290	Sta. 0+290 s/d Sta. 0+310

Tabel 4.2 Segmen I dan Jumlah Lintasan

Alat Pemadat	Jumlah Lintasan	Tebal Gembur
1. Padfoot Compaction (Pemadatan Awal)	7	35 cm
2. Smoothing Drum (Pemadatan Akhir)	4	

Tabel 4.3 Segmen II dan Jumlah Lintasan

Alat Pemadat	Jumlah Lintasan	Tebal Gembur
1. Padfoot Compaction (Pemadatan Awal)	8	35 cm
2. Smoothing Drum (Pemadatan Akhir)	4	

Tabel 4.4 Segmen III dan Jumlah Lintasan

Alat Pemadat	Jumlah Lintasan	Tebal Gembur
1. Padfoot Compaction (Pemadatan Awal)	9	35 cm
2. Smoothing Drum (Pemadatan Akhir)	4	

a. Pengujian Derajat Kepadatan

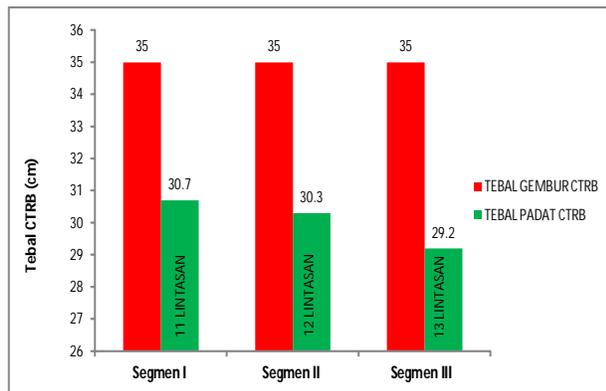
Dari hasil percobaan pemadatan di lapangan di tiga segmen dengan jumlah lintasan yang berbeda

dan hasil test pit untuk mengetahui tebal sebelum pemadatan maupun sesudah pemadatan dapat dilihat pada Tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Hasil Test Pit *CTRB*

Segmen	Tebal Gembur	Tebal Padat
1. I	35 cm	30,7 cm
2. II	35 cm	30,3 cm
3. III	35 cm	29,2 cm

Dari hasil Test Pit bisa diketahui berapa besar pengaruh pemadatan dari ketiga segmen percobaan terhadap tebal gembur dan tebal padat *CTRB* dapat dilihat pada Gambar 4.6 sebagai berikut:



Gambar 4.6 Pengaruh Pemadatan Lapangan *CTRB*

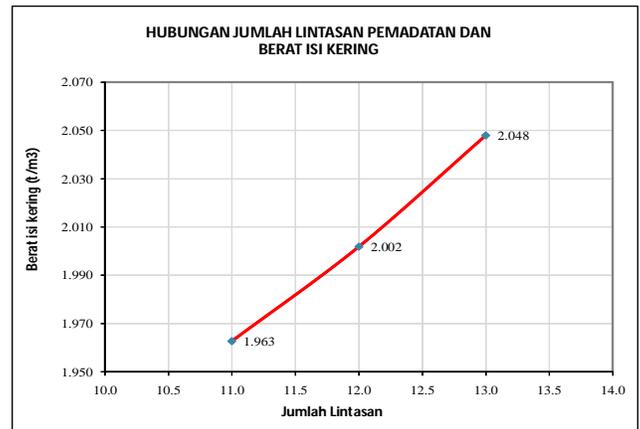
Dari Gambar 4.6 dilihat jumlah lintasan pemadatan terhadap nilai kepadatan, makin banyak jumlah lintasan, makin besar pula selisih tebal gembur terhadap tebal padat yang berarti kepadatan yang dihasilkan makin baik.

Hasil percobaan jumlah lintasan dan test kepadatan lapangan menggunakan alat *Sand Cone* pada ketiga segmen didapat hasil seperti pada Tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil Percobaan Jumlah Lintasan dan Test Kepadatan *CTRB*

Segmen	Jumlah Lintasan	Berat Isi Kering
1. I	11 kali	1,963 t/m ³
2. II	12 kali	2,002 t/m ³
3. III	13 kali	2,048 t/m ³

Hasil percobaan jumlah lintasan dan test kepadatan untuk berat isi kering *CTRB* dapat diplot seperti pada seperti gambar 4.7 berikut :



Gambar 4.7 Hubungan Jumlah Lintasan Pemadatan Terhadap Berat Isi Kering *CTRB*

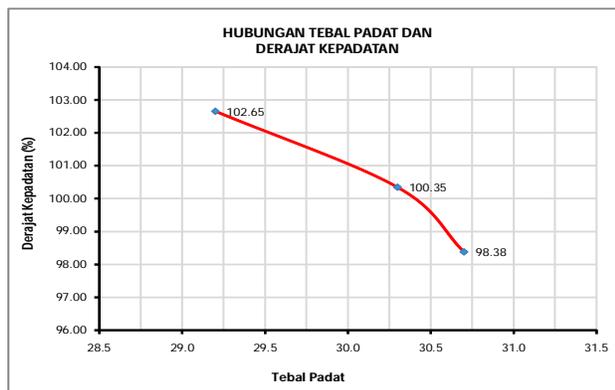
Dari Gambar 4.7 dapat disimpulkan makin banyak jumlah lintasan pemadatan, maka semakin besar juga nilai berat isi kering lapangan *CTRB*.

Hasil test pit dan kepadatan lapangan dengan menggunakan alat *Sand Cone* untuk mendapatkan hasil derajat kepadatan ketiga segmen didapat hasil seperti pada Tabel 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil Test Pit dan Test Kepadatan Lapangan *CTRB*

Segmen	Tebal Padat	Derajat Kepadatan
1. I	30,7 cm	98,38 %
2. II	30,3 cm	100,35 %
3. III	29,2 cm	102,65 %

Hasil test pit tebal padat dan kepadatan lapangan untuk derajat kepadatan *CTRB* dapat diplot seperti pada seperti gambar 4.8 berikut:



Gambar 4.8 Hubungan Tebal Padat Terhadap Derajat Kepadatan Lapangan *CTRB*

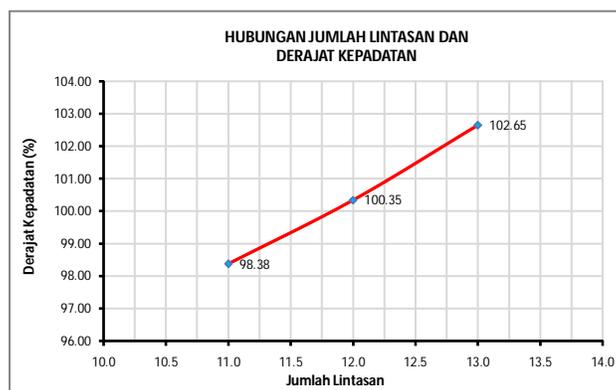
Dari Gambar 4.8 dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian derajat kepadatan lapangan untuk ketiga segmen percobaan yaitu 98,4%, 100,4% dan 102,6% > 95% maksimum kepadatan kering yang disyaratkan (memenuhi persyaratan Spesifikasi Khusus *CTRB* dan *CTRSB*), karena makin besar selisih tebal gembur terhadap tebal padat hasil pemadatan, maka makin besar juga nilai derajat kepadatan *CTRB* yang dihasilkan.

Hasil percobaan jumlah lintasan dan test kepadatan dengan menggunakan alat *Sand Cone* untuk derajat kepadatan lapangan *CTRB* ketiga segmen didapat hasil seperti pada Tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Hasil Test Jumlah Lintasan dan Kepadatan Lapangan *CTRB*

Segmen	Jumlah Lintasan	Berat Isi Kering
1. I	11 kali	98,38 %
2. II	12 kali	100,35 %
3. III	13 kali	102,65 %

Hasil percobaan jumlah lintasan dan test kepadatan lapangan untuk derajat kepadatan *CTRB* dapat diplot seperti pada seperti gambar 4.9 berikut:



Gambar 4.9 Hubungan Jumlah Lintasan Pemadatan Terhadap Derajat Kepadatan Lapangan *CTRB*

Dari Gambar 4.9 dapat disimpulkan bahwa makin banyak jumlah lintasan pemadatan, maka semakin besar derajat kepadatan lapangan yang dihasilkan berdasarkan perbandingan antara γ_d (*Sand Cone*) dengan γ_{dmax} hasil percobaan pemadatan di laboratorium.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis penelitian ini, maka dapat diberi kesimpulan antara lain:

1. Uji distribusi ukuran butir menunjukkan kesesuaian terhadap syarat yang diijinkan yaitu : agregat kasar 57,84 %, agregat sedang 26,08 %, agregat halus 16,09 % dengan yang tertahan # no. 200 = 11,93 % dan lolos # no. 200 = 4,16 %.
2. Pengujian Batas *Atterberg CTRB* didapat hasil yaitu : batas cair 17,20 %, batas plastis 10,91 % dan indek plastisitas 6,29 % \leq 10% syarat yang ditentukan (*Hicks 2002* dan Spesifikasi Khusus *CTRB dan CTRSB*).
3. Berdasarkan klasifikasi tanah sistem *USCS* termasuk pada kelompok *CL-ML* yaitu lanau tak organik, lempung kepasiran dengan plastisitas

rendah dan *AASHTO* termasuk pada kelompok A-4 yaitu lempung lanau dengan plastisitas rendah.

4. Kepadatan *CTRB* di laboratorium berat volume kering maksimum (γ_{dmax}) dari *CTRB* 1,995 t/m³, dengan kadar semen 7 % dan kadar air optimum (W_{opt}) 9,50 % .
5. Test pit dan kepadatan *CTRB* di lapangan menggunakan pengujian pemadatan metode *sand cone* yaitu :
 - a. Segmen I dengan jumlah 11 kali lintasan didapat tebal padat 30,7 cm dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) sebesar 1,963 t/m³ dengan derajat kepadatan 98,38 % > 95 % maksimum kepadatan kering yang disyaratkan (memenuhi persyaratan Spesifikasi Khusus *CTRB* dan *CTRSB*).
 - b. Segmen II dengan jumlah 12 kali lintasan didapat tebal padat 30,3 cm dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) sebesar 2,002 t/m³ dengan derajat kepadatan 100,35 % > 95 % maksimum kepadatan kering yang disyaratkan (memenuhi persyaratan Spesifikasi Khusus *CTRB* dan *CTRSB*).
 - c. Segmen III dengan jumlah 13 kali lintasan didapat tebal padat 29,2 cm dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) sebesar 2,048 t/m³ dengan derajat kepadatan 102,65 % > 95 % maksimum kepadatan kering yang disyaratkan (memenuhi persyaratan Spesifikasi Khusus *CTRB* dan *CTRSB*).

Saran

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pemadatan agar dicapai hasil yang optimal adalah sebagai berikut:

1. Dalam pelaksanaan pemadatan sangat diperhatikan kadar air *CTRB* tidak boleh lebih 2% dari kadar air optimum pemadatan di laboratorium.
2. Selama pemadatan perlu diperhatikan masa *setting time* proses pengerasan semen.

DAFTAR PUSTAKA

Denny M. M. Idham dan Hendra S, 2012, *Analisa Derajat Kepadatan Timbunan Lapis Pondasi dan Propertis Agregat (Studi Kasus Jalan Sultanah Agung Latifah-Bunga Raya)*. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bengkulu.

Hardiyatmo. H.C, 2010, *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo. HC, 2006, *Mekanika Tanah 1 Edisi Keempat*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

Muralia Hustim, 2002, *Pengaruh Variasi Gradasi dan Tingkat Kepadatan Terhadap Nilai Koefisien Drainase dan Koefisien Kekuatan Relatif dari Lapis Agregat*. Rekayasa Transportasi Program Studi Teknik Sipil Program Pascasarjana. Institut Teknologi Bandung.

Saodang H, 2005, *Konstruksi Jalan Raya*, Nova, Bandung.

SNI 03-1743-1989, *Metode Pengujian Kepadatan Berat*.

SNI 03-1965.1-2000 (PDM 08-2000-03), *Air Tanah Dengan Alat Speedy*.

SNI 03-2828-1992, *Metode Pengujian Kepadatan Lapangan Dengan Alat Konus Pasir*.

SNI 1965:2008, *Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium*.

Badan Standar Nasional, 2008, *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah (SNI 1967-2008)*, Jakarta.

Badan Standar Nasional, 2008, *Cara Uji Penentuan Batas Plastisitas dan Indeks Plastisitas Tanah (SNI 1966-2008)*, Jakarta.

Badan Standar Nasional, 2008, *Cara Uji Analisis Butir Tanah (SNI 3423-2008)*, Jakarta.

Hendarsin, 2000, *Perencanaan Teknik Jalan Raya*, Penerbit Politeknik Negeri Bandung.

Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum, 2010, *Spesifikasi Khusus CTRB dan CTRSB*, Jakarta.

Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum, 2010, *Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pelaksanaan Daur Ulang Perkerasan Jalan dengan Semen Dicampur Di tempat*, Jakarta.