

## Perencanaan Lapis Fondasi Daur Ulang Menggunakan Lapis Fondasi Atas dan Lapis Aspal Eksisting

Diyanti, Andi Asnur Pranata, Ellysa, Sri Indah Setiyaningsih

Universitas Gunadarma

Alamat: Jl. Margonda Raya No. 100, Kota Depok, Jawa Barat

Korespondensi penulis: [diyanti@staff.gunadarma.ac.id](mailto:diyanti@staff.gunadarma.ac.id)

**Abstract.** *The current technology for using recycled materials in road preservation work is very helpful in maintaining the sustainability of the materials used. Waste from road materials that will be repaired can be reused for new foundation layers. The aim of this research is to obtain a design for the percentage of cement, percentage of emulsified asphalt, unconfined compressive strength and optimum water content in accordance with the applicable engineering specifications so that it can be proven that the existing material from the top foundation layer and asphalt layer can still be used as a new foundation layer. The research method involves conducting experiments on existing materials by conducting laboratory tests on samples of top foundation layer aggregate and existing asphalt in the Cikarang Industrial Area. The experiment was carried out at the Jakarta State Polytechnic Civil Engineering Laboratory with 9 test samples. The results obtained for the recycled foundation layer were that the design cement required was 30.8 grams and 53.1 grams of emulsified asphalt for an area of 1m<sup>2</sup> with a 7 day unconfined compressive strength obtained from nine samples for variations in cement content of 1%, 3%, and 5% maximum 2.81MPa, so the optimum cement content is 3.6%.*

**Keywords:** *emulsified asphalt, recycled, sustainable, asphalt layer, foundation layer, cement*

**Abstrak.** Teknologi pemanfaatan material daur ulang pada pekerjaan preservasi jalan saat ini sangat membantu untuk menjaga keberlanjutan material yang digunakan. Limbah dari material jalan yang akan dilakukan perbaikan dapat dimanfaatkan kembali untuk lapis fondasi baru. Tujuan penelitian ini yaitu didapatkan rancangan presentase semen, presentase aspal emulsi, kuat tekan bebas, dan kadar air optimum yang sesuai dengan spesifikasi teknik yang berlaku sehingga dapat teruji bahwa material eksisting dari lapis fondasi atas dan lapis aspal masih dapat digunakan menjadi lapis fondasi baru. Metode penelitian dengan cara melakukan eksperimen terhadap material eksisting dengan melakukan uji laboratorium untuk sampel agregat lapis fondasi atas dan aspal eksisting pada Kawasan Industri Cikarang. Percobaan dilakukan pada Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta dengan sampel uji sebanyak 9 sampel. Hasil yang didapatkan untuk lapis fondasi daur ulang yaitu semen rancangan yang dibutuhkan sebesar 30,8 gram dan aspal emulsi 53,1 gram untuk luasan 1m<sup>2</sup> dengan kuat tekan bebas umur 7 hari yang didapatkan dari sembilan sampel untuk variasi kadar semen 1%, 3%, dan 5% maksimum 2,81MPa, sehingga kadar semen optimum didapatkan 3,6%.

**Kata kunci:** aspal emulsi, daur ulang, keberlanjutan, lapis aspal, lapis fondasi, semen

### LATAR BELAKANG

Undang-undang Nomor 2 Tahun 2022 menjelaskan bahwa jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian Jalan, termasuk bangunan penghubung, bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah, dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel, jalan lori, dan jalan kabel. Penyelenggaraan kegiatan penyusunan program dan anggaran, perencanaan teknis, pengadaan tanah,

Received: April 30, 2023; Accepted: Mei 31, 2023; Published: Juni 30, 2024

\* Diyanti, [diyanti@staff.gunadarma.ac.id](mailto:diyanti@staff.gunadarma.ac.id)

pelaksanaan konstruksi, pengoperasian Jalan, dan/ atau preservasi Jalan. Preservasi jalan merupakan kegiatan pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi, rekonstruksi, dan pelebaran menuju standar. Pembangunan Jalan Berkelanjutan adalah konsep pelaksanaan/penerapan konstruksi berkelanjutan bidang prasarana Jalan yang memuat prinsip berkelanjutan dan berbasis keseimbangan.

Donny Ariawan, Slamet Budirahardjo, dan Ikhwanudin (2017) Dalam mempertahankan fungsi dari kondisi jalan beraspal maka dilakukan pemeliharaan berkala, saat ini pemeliharaan berkala dilakukan sebagian besar dengan cara melapis ulang (*overlay*). Metode ini jika dilakukan terus menerus akan membentuk ketebalan jalan yang semakin tinggi, sehingga dapat mengganggu drainase ketinggian bahu jalan, kerb, dan median. Teknologi daur ulang (*recycling*) di Indonesia telah diterapkan yang antara lain daur ulang campuran dingin campuran beraspal dengan aspal cair dan daur ulang dengan pemanasan lapis permukaan beraspal langsung di lapangan (*in place*), *Cement Treated Recycling Base* (CTRB), *Recycling by Foamed Bitumen* (RFB), *Hot Mix Recycling Asphalt* (HMRA) (Djoko Widayat and M. Sjahdanulirwan, 2009). Pengembangan-pengembangan terus dilakukan untuk menghasilkan material yang ramah lingkungan dan memiliki Kuat Tekan Bebas (KTB) yang memenuhi standar spesifikasi teknis yang berlaku.

Menurut Agus Rahmanto, and etc., 2018 perkembangan teknologi telah memberikan solusi dalam upaya penanganan kerusakan jalan, salah satunya didalam penggunaan Kembali lapis perkerasan jalan lama dengancara daur ulang atau *recycling*. Pemanfaatan material lama ini memiliki keuntungan antara lain dapat menurunkan tingkat kerusakan lingkungan akibat limbah dari aspal, menghemat biaya pekerjaan, merupakan *green technology*, dan menjaga geometrik perkerasan jalan dengan tetap mempertahankan tebal perkerasan. Teknologi daur ulang dapat menghemat penggunaan agregat 45% hingga 60% dalam aspal baru (Putu Budiarnaya. And etc., 2022).

Salah satu inovasi yang dapat dilakukan dalam rangka perbaikan terhadap kerusakan jalan adalah dengan memanfaatkan aspal daur ulang atau biasa disebut *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Aspal Daur Ulang (ADU) adalah hasil *scraping* jalan aspal usang yang telah rusak serta sebagai limbah aspal beton. Pemanfaatan aspal daur ulang (RAP) yaitu dengan cara diproses ulang dengan bahan yang ditambahkan sebagai pengikat untuk membuat bahan perkerasan yang baru. (Wilis & Risdianto, 2018).

Pada Penelitian ini sistem daur ulang yang digunakan sebagai lapis fondasi jalan yaitu sistem daur ulang dengan inovasi memanfaatkan material lapis fondasi atas dan lapis aspal lama menjadi fondasi baru dengan penambahan aditif berupa semen dan aspal emulsi. Hasil

penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam pelaksanaan pekerjaan rehabilitasi dan rekonstruksi jalan untuk perkerasan aspal.

## **KAJIAN TEORITIS**

### **Rancangan Campuran**

Pengujian kadar air optimum dan kepadatan maksimum dilakukan dengan langkah-langkah:

- 1) Klasifikasikan agregat dengan penimbangan agregat berdasarkan rasio pencampuran yang dihitung. Benda uji terdiri dari agregat yang dipadatkan dengan menambahkan bahan aditif (semen dan aspal emulsi) pada *mold marshall*. Penentuan berat air yang akan ditambahkan untuk mendapatkan kadar air target dengan rumus berikut:

$$W = \left\{ \left( A + C + E \times \frac{R}{100} \right) \times \frac{w}{100} \right\} - \left\{ \left( E \times 1 - \frac{R}{100} \right) \right\} \quad (1)$$

Di mana :

W : Berat air yang akan ditambahkan (g)

A : Volume agregat (g)

C : Volume semen (g)

E : Volume aspal emulsi (g)

$\omega$  : Target kadar air (%)

R : Konsentrasi aspal emulsi (%)

- 2) Campurkan agregat dan semen secara kering biasanya yang digunakan 2,5% dari nilai tengah (1%-5%), lalu tambahkan air dan aduk. Setelah itu campurkan aspal emulsi ke dalam campuran dan aduk kembali. Dapatkan lima variasi kadar air dengan mengubah nilai yang mengacu pada kadar air optimum, lalu buat benda uji (Contoh: benda uji dengan kadar air 2,0%; 4,0%; 6,0%; 8,0%; dan 10,0%).

- 3) Setelah pencampuran, masukkan setiap sampel ke dalam cetakan pemadatan *Marshall*. Padatkan sampel 50 kali di setiap sisi dengan *Marshall Compactor Machine*. Setelah itu ukur ketebalan benda uji pada saat benda uji berada di dalam *mold*.

- 4) Keluarkan benda uji dari *mold* dan keringkan dalam oven dengan suhu  $110 \pm 5$  °C selama 11 jam kemudian lakukan penimbangan berat kepadatan kering. Tentukan volume sampel dengan menggunakan nilai ketebalan yang diukur pada langkah (3) di atas kemudian hitung massa jenis keringnya.

Menentukan kadar air dan kepadatan kering dengan rumus berikut:

$$\text{Kadar air} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 (\%) \quad (2)$$

Di mana :

$m_1$  : Massa basah sampel

$m_2$  : Massa kering sampel

$$\text{Kepadatan kering} = \frac{m_2}{h \times A} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$$

(3)

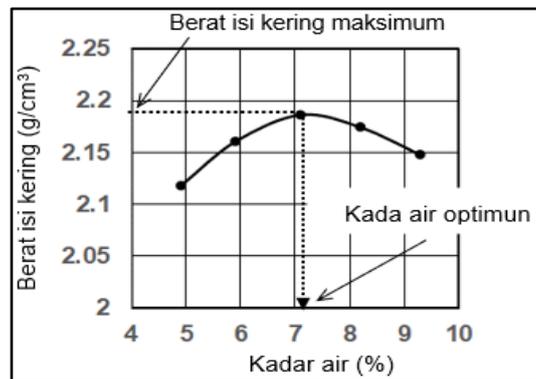
Di mana :

$h$  : Ketebalan sampel (cm)

$m_2$  : Massa kering sampel (g)

$A$  : Luas alas *modal* ( $cm^2$ )

- 5) Menghitung kadar air optimum yang diperoleh dari kurva hubungan antara kadar air dan kepadatan kering seperti yang terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1. Kurva hubungan antara kadar air dan kerapatan kering**

- 6) Membuat benda uji untuk pengujian Kuat Tekan Bebas (KTB)

Uji kuat tekan bebas dilakukan dengan mengacu ke Prosedur sesuai dengan SNI 03-6887-2012, dengan langkah-langkah yaitu:

- a) Persiapan benda uji dengan menimbang agregat berdasarkan rasio campuran yang sudah dihitung dan kadar air optimum sesuai hasil yang didapatkan dari (i.5).
- b) Pencampuran aspal emulsi dan semen yang dilakukan sesuai dengan hasil perhitungan jumlah aspal emulsi yang dibutuhkan sesuai hasil yang didapatkan dari (g) dicampurkan dengan persentase perubahan semen: 1,0%, 3,0% dan 5,0%. Buatlah paling sedikit tiga benda uji untuk kandungan semen yang sama.
- c) Setelah pencampuran, masukkan setiap sampel ke dalam cetakan pemadatan *Marshall*. Padatkan sampel 50 kali di setiap sisi dengan *Marshall Compactor Machine*.

7) *Curing*

- a) Benda uji yang dipadatkan dibiarkan di dalam cetakan dan simpan selama 24 jam di dalam suhu ruang. Kemudian keluarkan dari cetakan dan lanjutkan penyimpanan di dalam suhu ruang selama lima hari.
- b) Setelah pengeringan benda uji pada suhu ruang selama 6 hari lakukan pengukuran ketebalan dan massa. Setelah pengukuran lakukan perendaman benda uji selama 24 jam pada air dalam suhu ruang. Setelah 24 jam keluarkan benda uji dari air lalu seka air dari permukaan dengan menggunakan kain kering yang bersih dan ukur massanya (maka didapat massa permukaan jenuh kering agregat) untuk menentukan koefisien penyerapan air.

Menghitung tingkat penyerapan air (%):

$$\text{Penyerapan air} = \frac{m_4 - m_3}{m_3} \times 100 (\%)$$

(4)

Di mana :

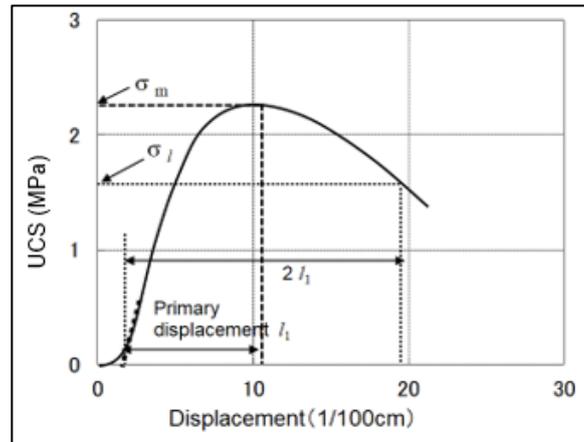
$m_3$  : Massa sebelum pencelupan (g)

$m_4$  : Massa setelah pencelupan (g)

8) Melakukan pengujian Kuat Tekan Bebas (KTB)

- a) Pengujian Kuat Tekan Bebas (KTB) digunakan untuk menguji benda uji pada kadar air keseimbangan yang diasumsikan sebagai kadar air lapangan yang mewakili kondisi perkerasan. Prosedur sesuai dengan SNI 03-6887-2012.
- b) Rendam benda uji selama 30 menit dalam *water bath* bersuhu konstan yang dipertahankan pada suhu  $30 \pm 1$  °C.
- c) Setelah direndam seka benda uji lalu letakkan ke alat uji KTB dengan kekuatan ring maksimum 50 kN dan mulai lakukan penekanan dengan kecepatan 1 mm/menit.
- d) Selama pengujian catat nilai beban yang ditunjukkan oleh *dial proving ring* pada setiap perpindahan yang ditunjukkan pada *dial displacement*. Lakukan pengujian hingga benda uji menunjukkan dua kali nilai *primary displacement*. Dengan

menggunakan nilai tersebut, tentukan nilai KTB, *primary displacement*, dan *residual strength percentage*.



**Gambar 2. Uji kuat tekan bebas**

- e) Setelah menyelesaikan uji KTB, hancurkan benda uji lalu keringkan selama 24 jam dalam oven dengan suhu  $110 \pm 5$  °C. Setelah 24 jam keluarkan dari oven lalu ukur massanya dan dilakukan perhitungan untuk kepadatan kering. Tentukan volume setiap benda uji dengan menggunakan ketebalan yang dihitung pada langkah (k.2), lalu hitung kepadatan keringnya.

Menghitung kepadatan kering setiap benda uji :

$$\text{Kepadatan kering} = \frac{m_5}{h \times A} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

(5) Dimana :

h : Ketebalan benda uji (cm)

$m_5$  : Massa kering benda uji (g)

A : Luas alas *mold* (cm<sup>2</sup>)

- 9) Menentukan kadar semen optimum

Kadar semen optimum ditentukan berdasarkan nilai tengah dalam rentang toleransi nilai kadar semen yang memenuhi standar nilai Kuat Tekan Bebas (KTB), *Primary Displacement*, *Residual Strength Percentage* dari benda uji campuran semen aspal emulsi (CAE) yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Nilai standar pengujian KTB untuk penentuan kadar semen optimum**

Nilai karakteristik	Standar nilai
KTB $\sigma_m$	1,5 – 2,9
<i>Primary displacement</i> $l_1$	(1/ 5 – 30
<i>Residual strength percentage</i> $\sigma_r$	$\geq 65$

Dalam penentuan kadar semen optimum, jika didapatkan nilai *Primary Displacement* dan *Residual Strength Percentage* yang tidak memenuhi nilai standar, maka penentuan kadar semen optimum dilakukan dengan menentukan nilai tengah dari nilai KTB.

## **METODE PENELITIAN**

### **Material**

Pada penelitian ini jenis material yang digunakan yaitu agregat dari lapis fondasi atas eksisting dan lapis permukaan aspal. Agregat dan aspal eksisting didapatkan dari Jalan yang terdapat pada Kawasan Industri Cikarang, Jawa Barat. Jumlah masing-masing sampel untuk lapis fondasi lama 70 kg dan lapis aspal lama 30 kg.

### **Metode**

Penelitian dilakukan dengan pengujian di Laboratorium Politeknik Negeri Jakarta selama 14 hari. Sampel yang telah diambil dari lapangan dilakukan pemisahan sampel secara merata berdasarkan gradasi agregatnya dan pengelompokan untuk dilakukan pengujian analisis saringan dengan menjadi 5 kelompok dengan metode *quartering method* atau *sample splitter* untuk dilakukan uji analisis saringan. Pada proses analisis saringan sampel diklasifikasikan sesuai dengan SNI ASTM C 136-2012.

Penentuan presentase agregat aspal eksisting pada penelitian ini yaitu dengan menghancurkan aspal eksisting yang berukuran besar dengan palu sampai mendapatkan ukuran yang memadai. Sampel aspal lama dikeringkan dengan oven (suhu 50<sup>0</sup>C) atau diletakan diruang terbuka. Kemudian diklasifikasikan kedalam 5 (lima) kelompok.

Penentuan kombinasi lapis aspal lama dengan cara mengkombinasi gradasi agregat gabungan dengan presentase lapis aspal eksisting dan lapis fondasi atas lama. Campuran pemadatan terdiri dari agregat, semen, air dan aspal emulsi yang telah ditentukan. Setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak  $\pm 1.200$  gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji 63,5 mm  $\pm 1,27$  mm.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan didalam perencanaan lapis fondasi daur ulang menggunakan material eksisting untuk jalan dengan lalu lintas sedang dengan tahapan sebagai berikut:

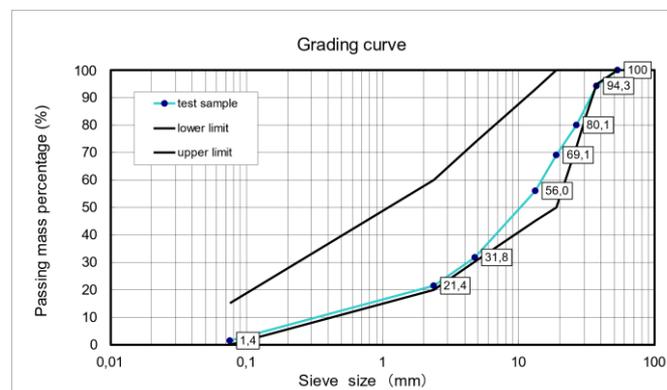
### 1. Pengujian Gradasi Agregat

Pengujian gradasi agregat dengan melakukan pemisahan antara sampel agregat dan aspal eksisting kemudian dari sampel dibagi kedalam 5 kelompok seperti yang terlihat pada Gambar 3.



**Gambar 3. Hasil analisis saringan untuk agregat eksisting**

Kemudian dilakukan proses penimbangan dari berat sampel tertahan dan presentase lolos saringan, sehingga didapatkan presentase gradasi yang diinginkan, selanjutnya dilakukan *ploting* kedalam curva gradasi agregat *base course* eksisting. Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan agregat *base course* eksisting didapatkan hasil dalam batas atas dan batas bawah seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4. Curva gradasi agregat *base course* eksisting**

Nilai persentase lapis aspal eksisting digunakan untuk menentukan kadar aspal emulsi yang digunakan pada pembuatan sampel benda uji pada pengujian kadar air optimum. Persentase lapis aspal eksisting dan kadar aspal emulsi optimal dihitung pada persamaan berikut:

Ketebalan lapis aspal ekisting	$D_1$	=	5,0	cm
Desain ketebalan lapis fondasi daur ulang	$D$	=	20,0	cm
Massa jenis lapis aspal eksistinga	$a$	=	2,4	$g/cm^3$
Massa jenis <i>base course</i> eksisting	$b$	=	2,1	$g/cm^3$

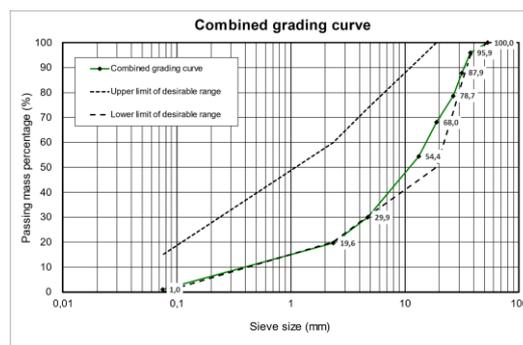
$$d = \frac{D_1 \times a}{D_1 \times a + (D - D_1) \times b} \times 100 = \frac{5 \times 2,4}{5 \times 2,4 + (20 - 5) \times 2,1} \times 100 = 27,6\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan hasil pengujian gradasi agregat dan presentase lapis aspal eksisting (d) didapatkan 27,6%. Langkah selanjutnya dilakukan perhitungan presentase kadar aspal emulsi optimal (P):

$$P = (0,04 \times \square) + (0,07 \times \square) + (0,12 \times \square) - (0,013 \times \square)$$

$$P = (0,04 \times 80,4) + (0,07 \times 18,6) + (0,12 \times 1) - (0,013 \times 27,6) = 4,3\%$$

Setelah dilakukan analisis agregat terpisah dengan didapatkan presentase tebal lapis aspal eksisting, didapat pula massa aspal emulsi terhadap keseluruhan campuran. Setelah itu dilakukan proses perhitungan dan analisis rekapitulasi gradasi agregat gabungan dan besaran agregat yang tertahan nilainya diploting kedalam curva seperti pada Gambar 5.



**Gambar 3. Grafik gradasi agregat gabungan**

## 2. Pengujian Kadar Air Optimum

Kadar air optimum didapatkan berdasarkan nilai *dry density* optimal dari setiap sampel marshall yang dibuat berdasarkan perhitungan kuantitas agregat dan kadar aspal emulsi optimal yang didapatkan pada perhitungan gradasi agregat gabungan. Berikut hasil perhitungan kuantitas agregat untuk pembuatan sampel kadar air optimum. Didapatkan kadar semen 2,5% setara dengan 30 gram dan kadar aspal emulsi optimum yang dibutuhkan sebesar 4,3% dan 53,1 gram untuk kuantitas agregat *base course* dan lapis aspal eksisting ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Kuantitas agregat *base course* dan lapis aspal eksisting**

Saringan (mm)	Persentase agregat (%)		Kuantitas setiap saringan untuk pengujian Marshall (g)		Kadar semen tentatif
	agregat <i>base course</i> eksisting	<i>Crushed</i> lapis aspal eksisting	agregat <i>base course</i> eksisting	<i>Crushed</i> lapis aspal eksisting	
25,0 – 19,0	9,9	3,7	114	42	C = 2,5 % C = 30,8 g
19,0 – 13,2	11,8	5,5	136	64	
13,2 – 4,75	21,9	9,2	252	106	
4,75 – 2,36	9,4	3,7	108	42	Kadar aspal emulsi optimal
2,36 – 0	19,3	5,5	222	64	E = 4,3 % E = 53,1 g
Sub total	72,4	27,6	833	317	
Total	100,0		1150,0		

## 3. Pembentukan Sampel Uji

Setelah didapatkan kadar semen dan aspla emulsi, maka langkah selanjutnya membuat sampel sebanyak 9 (sembilan). Buat campuran pemadatan terdiri dari agregat, semen, air dan aspal emulsi, dengan komposisi masing-masin benda uji agregat sebanyak  $\pm 1.200$  gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji  $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$ .

## 4. Pengujian Kadar Air Optimum

Sampel dibuat menjadi lima variasi kadar air dengan mengubah nilai yang mengacu pada kadar air optimum, lalu buat benda uji (Contoh: benda uji dengan kadar air 2,0%; 4,0%; 6,0%; 8,0%; dan 10,0%). Setelah pencampuran, masukkan setiap sampel ke dalam cetakan

pemadatan *Marshall*. Padatkan sampel 50 kali di setiap sisi dengan *Marshall Compactor Machine*. Setelah itu ukur ketebalan benda uji pada saat benda uji berada di dalam *mold*. Keluarkan benda uji dari *mold* dan keringkan dalam oven dengan suhu  $110 \pm 5$  °C selama 11 jam kemudian lakukan penimbangan berat kepadatan kering Penentuan berat air yang akan ditambahkan untuk mendapatkan kadar air target dengan rumus berikut:

Volume agregat	A = 1150	g
Volume semen	C = 12	g
Volume aspal emulsi	E = 52	g
Target kadar air	$\omega = 8,1$	%
Konsentrasi aspal emulsi	R = 53	%

$$W = \left\{ \left( A + C + E \times \frac{R}{100} \right) \times \frac{\omega}{100} \right\} - \left\{ \left( E \times 1 - \frac{R}{100} \right) \right\}$$

$$W = \left\{ \left( 1150 + 12 + 52 \times \frac{53}{100} \right) \times \frac{8,1}{100} \right\} - \left\{ \left( 52 \times 1 - \frac{53}{100} \right) \right\}$$

$$W = 72 \square \square \square \square$$

Didapatkan berat air yang akan ditambahkan (W)= 72 gram

Menghitung kadar air sebagai berikut:

Massa basah sampel  $m_1 = 1253,7$  g

Massa kering sampel  $m_2 = 1176,6$  g

$$\text{Kadar air} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 (\%)$$

$$\text{Kadar air} = \frac{1253,7 - 1176,6}{1176,6} \times 100 (\%)$$

$$\text{Kadar air} = 6,6 \%$$

Menghitung kepadatan kering sebagai berikut:

Ketebalan sampel  $h = 7,33$  cm

Massa kering sampel  $m_2 = 1176,6$  g

Luas alas *mold*  $A = 80,28$  cm<sup>2</sup>

$$\text{Kepadatan kering} = \frac{m_2}{h \times A} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$$

$$\text{Kepadatan kering} = \frac{1176,6}{7,33 \times 80,28}$$

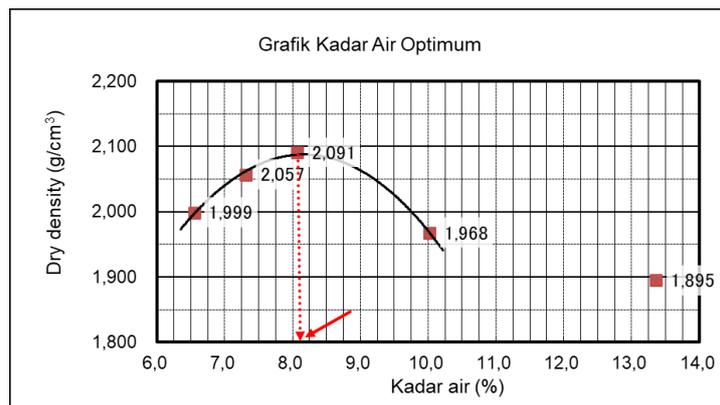
$$\text{Kepadatan kering} = 1,999 \text{ g/cm}^3$$

Berikut rekapitulasi persentase kadar air yang dibutuhkan untuk lapis fondasi atas hasil daur ulang material eksisting seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kadar air optimum

Target kadar air (%)	air (g)	ketebalan rata-rata (cm)	Volum e (cm <sup>3</sup> )	Wet mass (g)	Dry mass (g)	Moisture content (%)	Dry density (g/cm <sup>3</sup> )
4,0	23,4	7,33	588,5	1253,7	1176,6	6,6	1,999
5,0	35,5	7,12	571,6	1261,8	1175,9	7,3	2,057
6,0	47,6	7,05	566,0	1279,0	1183,5	8,1	2,091
8,0	71,8	7,47	599,7	1298,7	1180,4	10,0	1,968
12,0	120,1	7,60	610,1	1310,7	1156,2	13,4	1,895

Nilai pada Tabel 4 dilakukan plotting pada grafik kadar air optimum berdasarkan kepadatan kering didapatkan presentase kadar air sebesar 8,1% seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Kadar air optimum

## 5. Pengujian Kuat Tekan Bebas

Rendam benda uji selama 30 menit dalam *water bath* bersuhu konstan yang dipertahankan pada suhu  $30 \pm 1$  °C.

Menghitung penyerapan air:

Massa sebelum pencelupan  $m_3 = 1223,5$  g  
 Massa sebelum pencelupan  $m_4 = 1256,8$  g

$$\text{Penyerapan air} = \frac{m_4 - m_3}{m_3} \times 100(\%) = \frac{1256,8 - 1223,5}{1223,5} \times 100(\%) = 2,72\%$$

Menghitung kepadatan kering:

Ketebalan benda uji  $h = 7,47$  cm  
 Massa kering benda uji  $m_5 = 1155,9$  g  
 Luas alas *mold*  $A = 80,28$  cm<sup>2</sup>

$$\text{Kepadatan kering} = \frac{m_5}{h \times A} (g/cm^3) = \frac{1155,9}{7,47 \times 80,28} = 1,927 g/cm^3$$

**Tabel 4. Rekapitulasi nilai pengujian KTB**

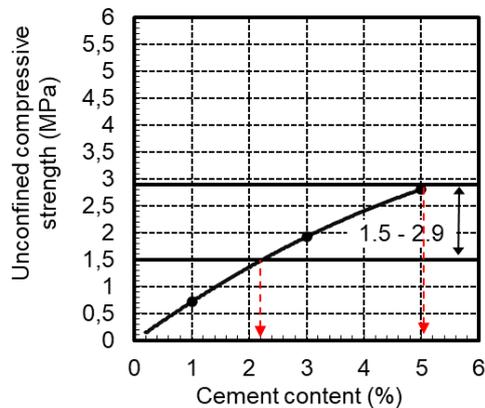
Kadar Semen (%)	Dry density (g/cm <sup>3</sup> )	Unconfined compressive strength (MPa)	Primary displacement (1/100cm)	Residual strength (%)	Water absorption (%)
1,0	1,917	0,72	41,5	60,5	2,30
3,0	1,945	1,92	54,3	21,6	1,44
5,0	1,948	2,81	55,3	19,2	1,68

**Tabel 5. Standar nilai pengujian KTB**

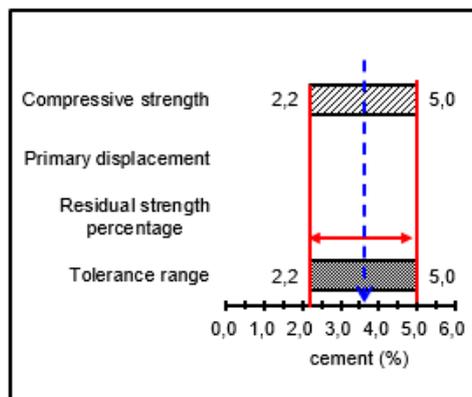
	Min	Max-Min	Max
<i>Compressive strength</i>	2,2	2,8	5,0
<i>Primary displacement</i>	-	-	-
<i>Residual strength percentage</i>	-	-	-
<i>Tolerance range</i>	2,2	2,8	5,0
<i>Central value</i>	3,6		

## 6. Penentuan kadar semen optimum

Pengujian kuat tekan bebas didapatkan 3 (tiga) nilai standar pengujian yang dijadikan sebagai penentuan kadar semen optimum, berdasarkan hasil yang didapatkan nilai UCS memenuhi standar nilai pengujian pada kadar 2,20% - 5,00% sedangkan pada nilai *primary displacement* dan *residual strength persentase* tidak memenuhi dari nilai standar pengujian. Penentuan kadar semen optimum tetap bisa ditentukan dan memenuhi syarat karena nilai UCS memenuhi nilai standar pengujian, nilai kadar semen optimum dari nilai central value yaitu sebesar 3,6% untuk mendapatkan kekuatan yang cukup baik dan biaya yang ekonomis.



Gambar 7. Grafik hubungan KTB dan kadar semen



Gambar 8. Grafik kadar semen optimum

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dapat disimpulkan dari penelitian perencanaan lapis fondasi daur ulang menggunakan material eksisting untuk perkerasan aspal yaitu:

1. Kadar semen yang digunakan untuk pengerjaan perbaikan lapis fondasi baru yaitu sebesar 2,5% setara dengan 30 gram dan kadar aspal emulsi optimum yang dibutuhkan sebesar 4,3% dan 53,1 gram.

2. Kuat Tekan Bebas yang didapat dari 9 sampel yang diujikan untuk variasi kadar semen 1%, 3%, dan 5% yaitu didapatkan minimum KTB yang didapatkan 0,72 MPa dan maksimum 2,81 MPa.
3. Kadar semen optimum sesuai dengan nilai KTB yang didapatkan yaitu sebesar 3,6%.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Terselesainya penelitian ini, diucapkan terima kasih kepada Universitas Gunadarma dan Politeknik Negeri Jakarta atas selesainya penelitian ini.

## **DAFTAR REFERENSI**

AASHTO M 20-70 (2004), *Penetration-Graded Asphalt Cement*

Agus Rahmanto, Woro Partini Maryunani, Muhammad Amin. 2018. "Penggunaan Material Daur Ulang Ruas Jalan Muntilan-Dukun pada Campuran Lapis Pondasi Atas Asphalt Treated Base (ATB)". Fakultas Teknik Universitas Tidar.

Badan Standarisasi Nasional. 1990.SNI 03-1968-1990 tentang Metode uji Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar

Badan Standarisasi Nasional. 1990.SNI 03-1971-1990 tentang Metode uji Kadar Air Agregat

Badan Standarisasi Nasional. 1994. SNI 03-3641-1994 tentang Metode Pengujian Kadar Air Aspal Emulsi

Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 4798:2011 tentang Spesifikasi aspal emulsi kationik

Badan Standarisasi Nasional. 2012. SNI 03-6887-2012 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Bebas Campuran Tanah-Semen

Badan Standarisasi Nasional. 2012. SNI ASTM C136-2012 tentang Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar

Departemen Pekerjaan Umum, 2005, Perencanaan Campuran Lapis Fondasi Hasil Daur Ulang Perkerasan Lama dengan Semen.

Djoko Widayat and M. Sjahdanulirwan, "Kinerja Daur Ulang Campuran Dingin Dengan Aspal Busa Pada Lalu Lintas Berat," *Jurnal Jalan-Jembatan*, vol. 26, no. 3, pp. 256–265, 2009.

Donny Ariawan. Slamet Budirahardjo. Ikhwanudin. 2017. "Penentuan Kadar Air Bagi Lapis Pondasi Daur Ulang Jalan Beraspal dengan Foam Bitumen Terhadap Kuat Tarik Tak Langsung dan Kuat Tekan Bebas". *Teknik*, Vol. XII No. 2, OKrober 2017:1-54.

Retno W, A., & Risdianto, Y. (2018). Pengaruh Penambahan Reclaimed Asphalt Pavement (Rap) Dan Lawele Granular Asphalt (Lga) Sebagai Bahan Substitusi Agregat Pada Campuran Beton Aspal *Wearing Course* (Ac-Wc) Dengan *Fly Ash Sebagai Filler*. *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(2/REKAT/18), 1–6.