



## **Pengaruh Substitusi Pozolan Alam (Tras) terhadap Semen pada Kuat Tarik Campuran CTRB**

**Joice Waani**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl.Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang 50275  
E-mail: joicewaani@yahoo.com

**Sri Prabandiyani**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl.Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang 50275  
E-mail: wardani\_spr@yahoo.com

**B. H. Setiadji**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl.Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang 50275  
E-mail: bhsetiadji@yahoo.com

### **Abstract**

*The use of Cement Treated Recycling Base (CTRB) material in Indonesia, is a very well established practice in Indonesia. This mixture containing Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) and Reclaimed Aggregate Materials (RAM) and stabilized with portland cement as pavement structural base layer. This technique has been applied in the field in some pavement major rehabilitation and reconstruction projects successfully. However, identical to other cementitious stabilized materials, this CTRB material is prone to cracks during service. For that reason, the use of cement as a stabilized material in CTRB has to be reviewed thoroughly before implementation in the field. The use of recyclable materials in pavement applications is not only environmentally friendly, but also can reduce the cost of materials in a particular project. In addition, a reduction in the use of cement in the CTRB material has a potential to reduce anticipated cracks that influence the physical characteristic of the mixtures. In this research project, the Indirect Tensile Strength (ITS) Test was conducted to review the influence of partial cement replacement with natural pozzolan (trass) to the mechanical properties of the CTRB to withstand tensile stress. A lower ITS value correlates to the shrinkage cracking tendency of the material. The results show that the increase in the percentage of cement replacement correlates well to the increase of the ITS values. Direct correlations exist for 15% and 30% cement replacement of the 4% to 6% CTRB cement content with 40% RAP-60% RAM and 60% RAP – 40% RAM combinations.*

**Keywords:** *Cement Treated Recycling Base (CTRB), Tensile strength, Density, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Reclaimed Aggregate Materials (RAM), Trass.*

### **Abstrak**

*Cement Treated Recycling Base (CTRB) adalah metode yang penggunaannya sudah cukup kembang di Indonesia. Campuran ini menggunakan material RAP dan RAM yang distabilisasi dengan semen untuk diaplikasikan sebagai lapis pondasi perkerasan jalan. Beberapa ruas jalan baik untuk rehabilitasi maupun rekonstruksi sudah menggunakan teknologi ini. Tetapi, sebagaimana sifat campuran semen pada umumnya, campuran ini bersifat mudah retak. Oleh karena itu, penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi pada campuran ini perlu mendapat perhatian khusus. Disamping untuk menghemat biaya dan mengurangi pengaruh buruk terhadap lingkungan, pengurangan penggunaan semen juga dibutuhkan untuk mengurangi retak yang dapat berpengaruh pada karakteristik mekanik dari campuran. Dalam penelitian ini, pengujian Indirect Tensile Strength (ITS) atau pengujian Kuat Tarik (tak langsung) dilakukan untuk melihat pengaruh substitusi parsial tras terhadap semen pada sifat fisik campuran CTRB yang berpengaruh pada sifat mekanik*

yaitu kemampuan menahan tegangan tarik (*ITS*) dari campuran *CTRB*, dimana hasil pengujian ini dapat dikorelasikan dengan kemungkinan terjadinya retak karena susut pada perkerasan ini. Berdasarkan data hasil pengujian, nilai *ITS* dari campuran ini meningkat karena adanya substitusi tras terhadap semen, yaitu pada substitusi 15% dan 30% tras terhadap 4%-6% kadar semen untuk kedua campuran *CTRB*, yaitu yang mengandung 40% *RAP*:60% *RAM* dan yang mengandung 60% *RAP*:40% *RAM*.

**Kata-kata Kunci:** *Cement Treated Recycling Base (CTRB)*, Kuat tarik, kepadatan, *RAP*, *RAM* dan tras.

## Pendahuluan

Kegiatan rehabilitasi maupun rekonstruksi perkerasan jalan membutuhkan sumber daya yang besar, baik sumber daya alam berupa agregat dan aspal maupun sumber daya ekonomi. Besarnya kebutuhan material agregat maupun aspal serta anggaran yang dibutuhkan untuk suatu konstruksi perkerasan jalan, serta beberapa pertimbangan yang berhubungan dengan masalah lingkungan, mengharuskan para peneliti maupun praktisi konstruksi perkerasan jalan untuk mengembangkan teknologi alternatif dan mencari jenis material baru untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satu alternatif tersebut adalah penggunaan material yang berasal dari lapis permukaan perkerasan jalan, dikenal dengan *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* dan material yang berasal dari lapis pondasi perkerasan jalan, dikenal dengan *Reclaimed Aggregate Material (RAM)* dan distabilisasi dengan semen untuk diaplikasikan kembali sebagai lapis pondasi yang dikenal dengan campuran *Cement Treated Recycling Base (CTRB)*. *CTRB* adalah merupakan salah satu teknologi yang efektif untuk mengantisipasi permasalahan kelangkaan material baik aspal maupun agregat juga hemat biaya konstruksi (Halsted, 2007; Deniz *et al.*, 2009; Nantung *et al.*, 2011). Namun demikian, penggunaan material agregat daur ulang terbatas oleh karena karakteristiknya yang tidak konstan dan sangat tergantung pada ketersediaan material *RAP* dan *RAM* di lapangan (Puppala *et al.*, 2011).

Disamping itu, sebagaimana sifat campuran semen pada umumnya, Campuran *CTRB* juga memiliki sifat mudah retak karena adanya semen dalam campuran (Wirtgen, 2004; Scullion *et al.*, 2000). Oleh karena itu, penggunaan semen dalam campuran ini perlu dikombinasikan dengan material lain seperti kapur atau material pozolan yang memiliki tingkat pencapaian kekuatan yang lambat sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya retak pada perkerasan (Guthrie *et al.*, 2002; Scullion *et al.*, 2000).

Material pozolan, baik pozolan alam maupun pozolan buatan, adalah mineral yang dapat ditambahkan pada campuran semen, dikenal dengan *supplementary cementing materials (SCMs)*, karena sifatnya yang menyerupai semen jika dicampur dengan kapur padam dan air

(Papadakis and Tsimas, 2002). Tras adalah pozolan alam yang berasal dari pelapukan material hasil erupsi gunung berapi. Material ini banyak terdapat di Sulawesi Utara dan berbagai daerah di Indonesia, terutama di daerah-daerah yang memiliki gunung berapi. Camacho and Afif (2002) menyatakan, keberadaan material pozolan dalam campuran semen atau beton mengurangi keberadaan air yang berlebihan dalam campuran, karena adanya  $\text{Ca(OH)}_2$  yang terkandung dalam pozolan berfungsi untuk mengikat kapur padam ( $\text{CH}$ ) menjadi senyawa yang memperkuat beton, mengurangi kebutuhan akan air yang berlebihan sehingga mengurangi sifat *expansif* dan meminimalkan kemungkinan terjadinya retak pada campuran semen. Penambahan atau substitusi material pozolan terhadap semen dalam campuran disamping dapat mengurangi kekakuan campuran perkerasan, juga dapat berfungsi sebagai *filler* dalam campuran, sehingga campuran menjadi lebih *solid* karena bertambahnya luas areal kontak antara partikel dalam campuran yang pada akhirnya mengakibatkan berkurangnya *shrinkage cracking* (ACI Committee 232 2R, 1996; Mehta, 1987).

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh substitusi pozolan alam (tras) terhadap semen dalam campuran *CTRB* pada peningkatan kepadatan campuran yang berimplikasi pada pengurangan kemungkinan terjadinya retak dalam campuran.

## Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, pengujian sifat-sifat fisik dari *RAP* dan *RAM* adalah meliputi pengujian analisa saringan, pengujian berat jenis dan absorpsi. Khusus untuk material *RAM* dilakukan pengujian abrasi dan pengujian batas cair dan batas plastis. Pengujian sifat-sifat semen dan tras yang dilakukan dalam penelitian ini adalah meliputi pengujian *specific gravity*, gradasi dan *Pozzolanic activity index (PAI)*. Setelah itu dilakukan pengujian pemadatan untuk menentukan kadar air optimum (*OMC*) dan kepadatan kering maksimum (*MDD*) untuk kedua variasi *RAP* dan *RAM* serta semua variasi kadar semen dan tras dalam campuran.

Tabel 1. Komposisi campuran CTRB

RAP:RAM(%)	Civ(%) kadar semen	Tw(%) kadar tras	Curing time (hari)
40:60	2; 4; 6	0; 15; 30	7; 14; 28
60:40	(terhadap total berat RAP + RAM)	(terhadap kadar semen)	

Tabel 2. Pengujian sifat fisik RAP dan RAM

No.	Jenis pengujian	Hasil pengujian								Metode pengujian
		Ram				Rap				
		Dawuan		Cirebon		Dawuan		M.T.		
1.	Abrasi	20.00		29,1		*		*		Sni 03-2417-1991
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar	
2.	Berat Jenis Bulk	2,70	2,54	2,29	2,22	2,48	2,57	2,47	2,46	Sni 03-1969-1990
3.	Berat Jenis Ssd	2,73	2,61	2,40	2,36	2,54	2,63	2,50	2,52	Sni 03-1969-1990
4.	Berat Jenis Apparent	2,79	2,73	2,57	2,58	2,63	2,74	2,56	2,62	Sni 03-1969-1990
5.	Berat Jenis Efektif	2,75	2,63	2,43	2,40	2,55	2,66	2,51	2,54	Sni 03-1969-1990
6.	Berat Jenis Apparent (Gabungan)	40% Rap:60% Ram				2,58				
		60% Rap:40% Ram				2,64				
7.	Penyerapan Air	1,16	2,70	4,74	6,25	2,23	2,37	1,38	2,63	Sni 03-1970-1990
8.	Analisa Saringan (Gabungan)	40% Rap:60% Ram								
		60% Rap:40% Ram								Sni 03-1968-1990
		Lihat Gambar 1								
9.	Indeks Plastisitas (Pi)	Np		Np		*		*		Sni 03-1966-1990

\*Tidak dilakukan pengujian

Variasi perbandingan RAP dan RAM serta kadar semen dan tras dalam campuran CTRB adalah sebagaimana dinyatakan dalam Tabel 1. Setelah mendapatkan kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD) untuk semua variasi material semen campuran, selanjutnya dibuat benda uji untuk pengujian kuat tarik (*Indirect Tensile Strength*, ITS) baik untuk benda uji yang tidak direndam (*unsoaked*) maupun benda uji yang direndam (*soaked*).

## Material

### RAP dan RAM

Material RAP yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari lapis permukaan ruas jalan M.T. Haryono di Jakarta dan ruas jalan Dawuan di Cikampek, Jawa Barat sedangkan material RAM diambil dari lapis pondasi ruas jalan Dawuan di Cikampek dan Cidangpingan-Palimanan di Cirebon, Jawa Barat.

### Material semen (semen dan tras)

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland tipe 1 dengan specific gravity ( $G_s$ ) = 3,14. Adapun tras yang digunakan dalam penelitian ini adalah berasal dari Manado, Sulawesi Utara. Ketika diambil dari *quarry tras* memiliki gradasi yang kasar, sehingga perlu

dihaluskan. Dalam penelitian ini, setelah dihaluskan tras dijemur selama kurang lebih 2 (dua) hari untuk mengurangi kadar air sehingga mencapai  $\pm 5\%$ . kemudian tras diayak dengan saringan no.325 (0,045 mm) hingga  $\geq 95\%$  lolos saringan tersebut. *Specific gravity tras* setelah dihaluskan dan lolos saringan no.325 adalah  $G_s = 2,42$  dan *strength activity index* 79% (*curing time* 7 hari) dan sebesar 85% (*curing time* 28 hari).

## Hasil Pengujian dan Pembahasan

### Pengujian sifat - sifat fisik material

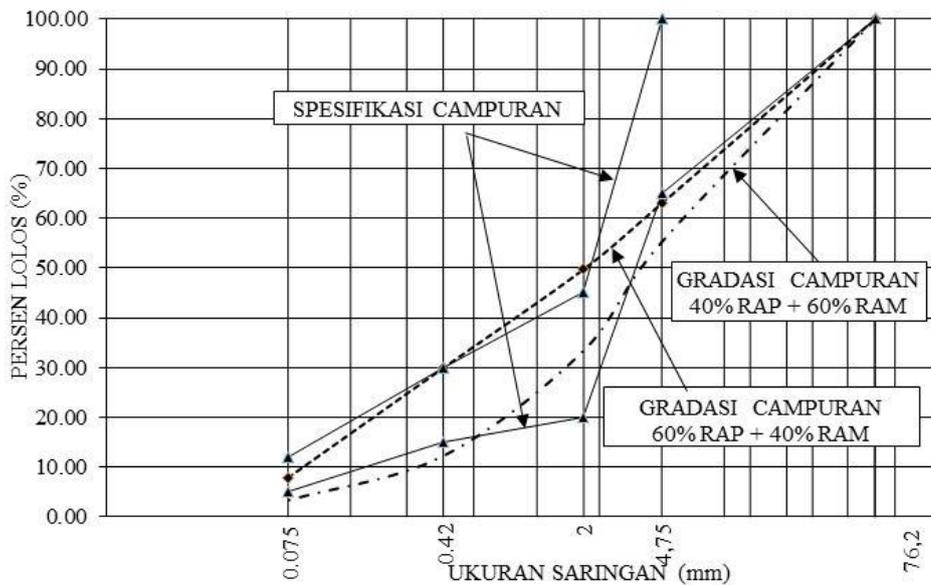
Hasil pengujian sifat-sifat fisik RAP dan RAM serta gradasi campuran 40% RAP:60% RAM dan gradasi campuran 60% RAP:40% RAM adalah sebagaimana tercantum dalam Tabel 2 dan Gambar 1. Sedangkan hasil pengujian sifat-sifat kimia dari tras adalah seperti yang dinyatakan dalam Tabel 3. Data hasil pengujian indeks plastis pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kedua jenis RAM bersifat non plastis, sedangkan hasil analisis saringan pada Gambar 1 menunjukkan bahwa agregat RAP lebih halus dari pada agregat RAM. Hasil analisa saringan terhadap gabungan dari kedua komposisi RAP dan RAM menunjukkan adanya perbedaan gradasi, dimana komposisi campuran yang mengandung 40% RAP:60% RAM bergradasi lebih kasar dibandingkan dengan gradasi campuran yang mengandung

60% RAP:40% RAM dan diklasifikasikan sebagai material klas C, sedangkan campuran yang mengandung 60% RAP:40% RAM termasuk dalam klasifikasi klas A berdasarkan spesifikasi gradasi lapis pondasi yang distabilisasi dengan semen (AASHTO, 1972).

Perbedaan gradasi dari kedua campuran ini disebabkan karena komposisi RAP dan RAM yang berbeda serta sumber RAP dan RAM yang berbeda pula. Data yang terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 1. juga menunjukkan bahwa kedua campuran CTRB masing-masing dengan perbandingan 40% RAP:60% RAM dan 60% RAP:40% RAM, termasuk dalam klasifikasi material *Well-Graded Gravel* berdasarkan standar spesifikasi AASHTO (AASHTO, 2004) dan termasuk dalam klasifikasi material A-1-a berdasarkan standar spesifikasi *Unified Soil Classification System* (ASTM, 2008). Tabel 2 Juga menunjukkan bahwa agregat RAM (Cirebon) yang terkandung

dalam campuran 40% RAP:60% RAM memiliki penyerapan air yang lebih besar dibandingkan dengan agregat RAM (Dawuan) yang terkandung dalam campuran 60% RAP:40% RAM.

Hasil pengujian sifat-sifat kimia dari tras menyatakan bahwa kandungan  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$  dalam tras adalah  $> 82,93\%$  sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa tras yang berasal dari Manado memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan tambahan pada campuran semen sebagaimana yang disyaratkan oleh ASTM C618-93 (Tabel 5). Sedangkan hasil pengujian *pozzolanic activity index* dari tras pada *curing time* 7 hari sebagaimana tercantum pada Tabel 4 yaitu sebesar  $25,95/32,94 \times 100\% = 79\%$ , dimana *Compressive strength* dari tras adalah sebesar  $25,95 \text{ Mpa} > 11,00 \text{ Mpa}$  menunjukkan kemampuan dari tras untuk berfungsi sebagaimana fungsi semen dalam campuran, seperti yang disyaratkan oleh ASTM C618-93 pada Tabel 5.



Gambar 1. Gradasi gabungan 40% RAP:60% RAM dan 60% RAP:40% RAMg

Tabel 3. Kandungan unsur kimia tras dari Manado

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI	Na <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Total
Tras	69,99	18,61	0,17	7,06	3,16	-	-	0,21	-	-

Tabel 4. Hasil pengujian sifat-sifat fisik dan mekanikal tras

Gradasi	# No. 200	100% Lolos
	# No. 325	99% Lolos
<i>Specific Gravity</i> (Gs)	2,42	
<i>Pozzolanic Activity Index</i> (PAI)	79% (7 hari)	85% (28 hari)

**Tabel 5. Standar spesifikasi untuk fly ash dan material pozolan sebagai bahan tambahan campuran semen (ASTM C618-93)**

	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO %	SO <sub>3</sub> %	Los in ignition %	7th day Flexural strength (Mpa)	7th day compressive strength (Mpa)
TS 25	>70.00	<5.00	<3.00	<10.00	>1.00	>4.00
Natural Pozolan	82.93	0.62	-	7.23	4.45	11.00

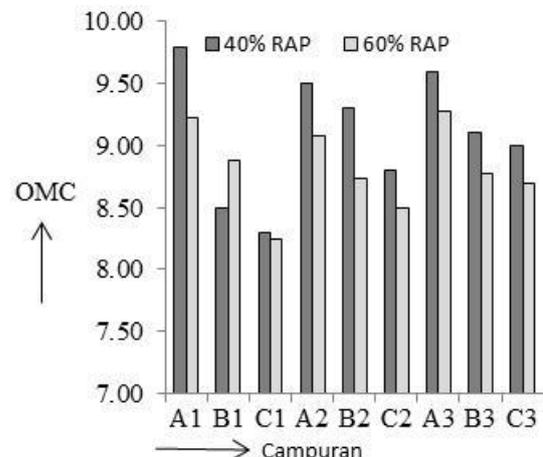
### Hasil pengujian pemadatan campuran CTRB

Hasil pengujian pemadatan dari campuran CTRB yang mengandung 40% RAP:60% RAM dan yang mengandung 60% RAP:40% RAM yaitu kadar air optimum (OMC) Gambar 2a dan kepadatan kering maksimum (MDD) Gambar 2b. Dari Gambar 2a, terlihat bahwa kadar air optimum (OMC) dari campuran yang mengandung 40% RAP cenderung lebih tinggi dari pada campuran yang mengandung 60% RAP dan hal ini berlaku pada hampir semua variasi semen-tras. Adapun komposisi perbandingan semen dan tras (A1, B1....C3) pada kedua campuran CTRB adalah sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 5 kolom 1 dan kolom 2.

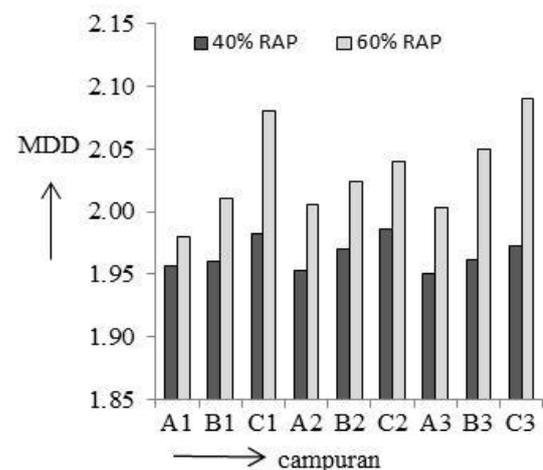
Tingginya nilai OMC dari campuran yang mengandung RAP yang rendah (40%), disebabkan karena kandungan RAM yang besar dalam campuran ini (60%) mengakibatkan besarnya penyerapan air sehingga meningkatkan nilai OMC dari campuran ini. Disamping itu tingkat penyerapan air dari material RAM yang terkandung dalam campuran yang mengandung 40% RAP:60% RAM ini, cukup tinggi dibandingkan dengan material RAM yang terkandung pada campuran yang mengandung 60% RAM, yaitu sebesar 4,74% (agregat halus) dan 6,25% (agregat kasar).

Sebaliknya, rendahnya nilai OMC dari campuran yang mengandung RAP yang besar (60%), disebabkan karena besarnya kadar RAP yang mendominasi material dalam campuran, dimana adanya aspal yang menyelimuti agregat RAP, menghalangi penyerapan air ke dalam pori-pori agregat dan mengakibatkan berkurangnya kadar air yang dibutuhkan selama proses pemadatan. Adapun pengaruh penambahan semen dalam campuran, mengakibatkan penurunan OMC pada kedua campuran CTRB (Camp A1, B1 dan C1), sedangkan substitusi tras terhadap semen dalam campuran mengakibatkan sedikit peningkatan nilai OMC pada kedua campuran CTRB (Camp A2, B2, C2 dan A3, B3, C3). Hal ini disebabkan karena, substitusi tras dalam campuran mengakibatkan berkurangnya semen dalam campuran. Disamping itu penambahan atau substitusi tras dalam campuran mengakibatkan peningkatan kebutuhan pasta (semen dan air) dalam campuran, sehingga mengakibatkan meningkatnya OMC, namun

demikian penambahkan air dalam campuran tidaklah sebesar penambahan tras dalam campuran. Hal ini sejalan dengan apa yang dinyatakan oleh Yetgin and Cafdar (2006); Monkman and Shao (2006); Jongpradist *et al.* (2010).



a. OMC



b. MDD

**Gambar 2. Hasil pengujian pemadatan campuran CTRB**

Dari Gambar 2b. terlihat bahwa MDD dari campuran CTRB yang mengandung 40% RAP lebih rendah dari pada campuran CTRB yang mengandung 60% RAP. Dengan kata lain, campuran yang mengandung 60% RAP lebih padat dari pada campuran yang mengandung 40% RAP. Hal ini disebabkan karena besarnya kadar RAP dalam campuran (60%) dimana kandungan aspal

pada RAP berpengaruh pada peningkatan kepadatan campuran. Semakin besar kadar aspal hingga pada batas tertentu semakin meningkatkan kepadatan campuran, hal ini sebagaimana dinyatakan oleh Bang *et al.* (2012) bahwa semakin besar kadar RAP dalam campuran semakin padat campuran tersebut yang dinyatakan dengan tingginya dynamic modulus campuran. Disamping itu, gradasi dari campuran CTRB yang mengandung 60% RAP, lebih halus dari pada gradasi campuran yang mengandung 40% RAP. Itulah sebabnya campuran CTRB yang mengandung 60% RAP lebih padat dari pada campuran yang mengandung 40% RAP.

Pada campuran CTRB yang mengandung 40% RAP, pengaruh penambahan kadar material semen (semen + tras) mengakibatkan peningkatan MDD pada substitusi 15% Tras terhadap semen. Sedangkan pada substitusi 30% tras terhadap semen mengakibatkan sedikit penurunan nilai MDD. Hal ini disebabkan karena besarnya kandungan material RAM yang mendominasi campuran dapat diikat dengan mudah oleh semen.

Adanya substitusi tras terhadap semen mengakibatkan pengurangan kadar semen dalam campuran sehingga mengurangi kandungan kalsium yang dapat bereaksi dengan tras dan berakibat pada penurunan kepadatan campuran, terutama pada substitusi tras 30% terhadap semen.

Pengaruh penambahan semen pada campuran CTRB yang mengandung 60% RAP, mengakibatkan peningkatan kepadatan (MDD) campuran, dan substitusi tras 15%-30% terhadap

semen mengakibatkan peningkatan MDD. Hal ini dikarenakan penambahan tras dalam campuran, selain mengakibatkan terjadinya reaksi pozolanik antara semen dan tras, tras yang tersisa dari reaksi pozolanik berfungsi sebagai filler yang mengisi rongga dalam campuran sehingga meningkatkan kepadatan campuran. *Actif silica* yang dapat bereaksi dengan semen melalui reaksi pozolanik, mengikat agregat RAM dalam campuran, sedangkan *crystal silica* yang tidak dapat bereaksi dengan semen menjadi filler dalam campuran, sehingga mengakibatkan peningkatan kepadatan campuran.

Persamaan 1 adalah persamaan yang menyatakan bahwa porositas campuran adalah fungsi dari kepadatan campuran dan *specific gravity* dari material yang terkandung dalam campuran. Dari persamaan ini besarnya porositas campuran diperoleh sebagaimana yang tercantum pada Tabel 6.

Persamaan ini, dimodifikasi dari persamaan porositas yang dikembangkan oleh Consoli untuk campuran stabilisasi tanah dengan semen (Consoli *et al.*, 2011), tetapi dalam penelitian ini pengaruh material tras sebagai substitusi parsial terhadap semen dalam ditambahkan. Dari Tabel 5 terlihat bahwa porositas dari campuran CTRB yang mengandung 40% RAP lebih tinggi dari pada porositas campuran CTRB yang mengandung 60% RAP. Hal ini sejalan dengan apa yang didapat dari pengujian pemadatan, dimana campuran CTRB yang mengandung 60% RAP lebih padat atau memiliki porositas yang lebih kecil dari pada campuran yang mengandung 40% RAP.

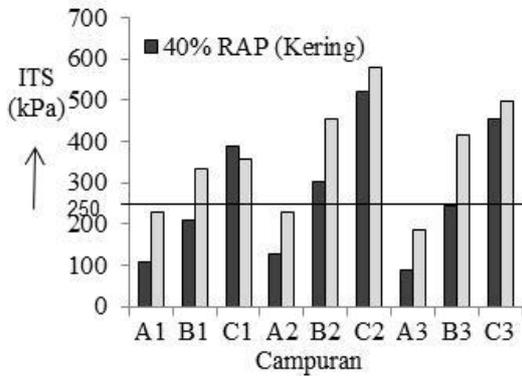
$$\eta = 100 - 100 \left[ \left( \frac{\frac{Y_d V_s}{100 + \frac{C}{100} + \frac{Fw}{100}} X_{100}^{100}}{G_{S_s}} \right) + \left( \frac{\frac{Y_d V_s}{100 + \frac{C}{100} + \frac{Fw}{100}} X_{100}^C}{G_{S_c}} \right) + \left( \frac{\frac{Y_d V_s}{100 + \frac{C}{100} + \frac{Fw}{100}} X_{100}^{Fw}}{G_{S_t}} \right) \right] / V_s \dots\dots\dots (1)$$

**Tabel 6. Porositas (η) dari campuran 40% RAP:60% RAM dan campuran 60% RAP:40% RAM.**

Campuran	Semen:Tras	η (7 hari)	
		RAP 40%	RAP 60%
A1	2%:0%	24,80	24,94
B1	4%:0%	25,18	25,73
C1	6%:0%	24,39	22,16
A2	85% A1:15% A1	25,17	24,58
B2	85% B1:15% B1	24,41	24,01
C2	85% C1:15% C1	23,73	23,31
A3	70% A1:30% A1	25,35	24,64
B3	70% B1:30% B1	24,81	22,91
C3	70% C1:30% C1	24,38	21,64

**Hasil pengujian ITS campuran CTRB**

Benda uji tanpa perendaman (*unsoaked*)



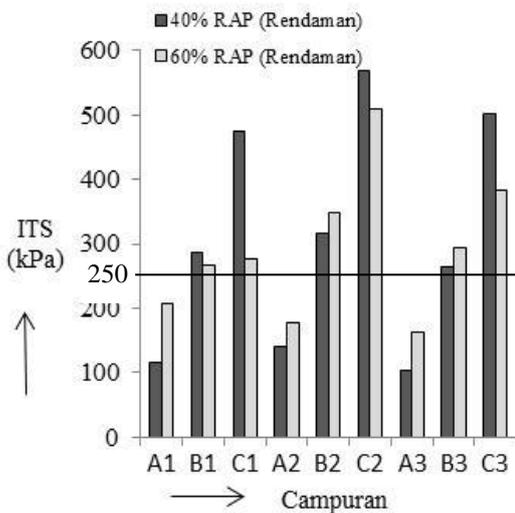
**Gambar 3. Grafik hubungan antara ITS dengan kadar semen dan tras (*unsoaked*)**

Gambar 3. adalah Hasil pengujian Kuat tarik tidak langsung (ITS) dari benda uji yang tidak direndam dalam air (*Unsoaked*), untuk campuran CTRB yang mengandung 40% RAP:60% RAM dan yang mengandung 60% RAP:40% RAM. Dari gambar ini terlihat bahwa nilai ITS dari campuran CTRB yang mengandung 60% RAP cenderung lebih tinggi dari pada campuran yang mengandung 40% RAP, dan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar semen dalam campuran (campuran B<sub>1</sub> dan C<sub>1</sub>). Substitusi 15% tras terhadap semen mengakibatkan peningkatan nilai ITS dari kedua campuran CTRB khususnya pada kadar semen 4%-6% (campuran B<sub>2</sub> dan C<sub>2</sub>), sedangkan substitusi 30% tras terhadap semen (campuran B<sub>3</sub> dan C<sub>3</sub>), sekalipun mengakibatkan sedikit penurunan nilai ITS, tetapi nilai ITS yang dicapai oleh kedua campuran CTRB  $\geq 250$  kPa, yaitu nilai ITS minimum yang disepakati oleh para peneliti untuk campuran semen agar tahan terhadap kerusakan akibat proses karbonasi semen (Wirtgen, 2004) dan melebihi nilai ITS dari campuran yang distabilisasi dengan semen saja. Hal ini menunjukkan bahwa Penambahan atau substitusi tras terhadap semen dalam campuran CTRB, berpengaruh positif pada ketahanan campuran terhadap tegangan tarik, dimana adanya tras dalam campuran selain bereaksi dengan semen (reaksi pozolanik) juga mengisi rongga dalam campuran, sehingga campuran menjadi lebih solid sebagaimana telah dijelaskan pada hasil pengujian pemadatan diatas. Consoli *et al.* (2011) menyatakan bahwa berkurangnya kadar pori dalam campuran akan meningkatkan *splitting tensile strength* secara substansial sebagai konsekuensi dari meningkatnya luas area kontak antara pertikel dalam campuran.

Cheng *et al.* (2008) menyatakan bahwa penambahan atau substitusi material pozolan terhadap semen dapat meningkatkan sifat microscopic dari pasta semen, dimana struktur pori akan berubah dari pori kapiler yang besar menjadi pori yang kecil dan bersifat gel karena adanya reaksi pozolanik dan proses hidrasi, sehingga retak pada perkerasan campuran semen dapat dikurangi. Meningkatnya nilai ITS dari campuran CTRB karena adanya substitusi tras terhadap semen, menunjukkan bahwa pengaruh substitusi tras terhadap semen mengakibatkan berkurangnya pori dalam campuran sehingga berimplikasi pada pengurangan kemungkinan terjadinya perubahan volume yang bisa mengakibatkan keretakan pada perkerasan CTRB.

Berdasarkan nilai ITS yang ditetapkan dalam konsensus para peneliti, maka campuran CTRB yang disubstitusi dengan tras dalam penelitian ini yang memenuhi syarat adalah campuran yang mengandung > 4% semen dengan substitusi tras sebesar 15%-30%, baik untuk campuran yang mengandung 40% RAP maupun yang mengandung 60% RAP.

Benda uji dengan perendaman (*soaked*)



**Gambar 4. Grafik hubungan antara ITS dengan kadar semen dan tras (*soaked*).**

Gambar 4 adalah hasil pengujian kuat tarik tidak langsung (ITS) terhadap benda uji yang direndam dalam air (*soaked*), dari campuran CTRB yang mengandung 40% RAP:60% RAM dan campuran yang mengandung 60% RAP:40% RAM. Dari gambar ini terlihat bahwa nilai ITS dari campuran yang mengandung 60% RAP lebih tinggi dari pada campuran yang mengandung 40% RAP, yaitu pada kadar semen 2%-4%. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya kadar semen dalam campuran yang mengandung RAP yang besar (60%), tidak

sepenuhnya menentukan ketahanan tarik dari campuran ini.

Adanya kandungan RAP yang cukup besar dalam campuran mengakibatkan nilai ITS dari campuran ini tidak hanya ditentukan oleh besarnya kadar semen dalam campuran tetapi juga ditentukan oleh kandungan aspal yang menyelimuti agregat RAP dalam campuran. Dimana aspal membantu meningkatkan kepadatan campuran sehingga pada kadar semen yang relatif rendah nilai ITS dari campuran ini lebih tinggi dari pada campuran 40% RAP. Kepadatan campuran CTRB yang mengandung 60% RAP ini juga ditentukan oleh BJ campuran yang relatif tinggi (2,64) dibandingkan terhadap BJ campuran yang mengandung 40% RAP (2,58) (lihat Tabel 2).

Tetapi pada campuran yang mengandung 40% RAP, besarnya kandungan RAM dalam campuran (60%) mengakibatkan nilai ITS dari campuran ini sangat dipengaruhi oleh besarnya kadar semen dalam campuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai ITS dari campuran yang mengandung 40% RAP pada kadar semen 6% lebih tinggi dari nilai ITS dari campuran yang mengandung 60% RAP (C1). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar semen dalam campuran yang mengandung RAM yang besar (60%), semakin besar ikatan yang terjadi antara agregat dengan semen, sehingga mengakibatkan kesanggupan menahan tegangan tarik dari campuran ini semakin meningkat pula. disamping itu penyerapan air yang cukup besar dari material RAM mengakibatkan air yang meresap ke dalam pori-pori agregat mengakibatkan adanya *pore pressure* sehingga meningkatkan nilai ITS dari benda uji yang direndam.

Pengaruh substitusi tras terhadap semen pada kedua campuran CTRB ini, menghasilkan kesanggupan menahan tegangan tarik yang cukup besar, yaitu pada kadar semen 4%-6% dengan substitusi tras 15%-30%. Sekalipun pada substitusi 30% tras terhadap semen mengakibatkan penurunan nilai ITS campuran, tetapi nilai ITS setelah substitusi 30% tras masih memenuhi batas persyaratan yang ditetapkan dalam konsensus bersama para peneliti yaitu  $\geq 250$  kPa. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi tras terhadap semen baik yang pada campuran yang mengandung 40% RAP maupun campuran yang mengandung 60% RAP, berpengaruh positif dalam meningkatkan kinerja campuran yakni dalam hal ketahanan terhadap tegangan tarik.

Hasil pengujian ITS terhadap benda uji yang tidak direndam dan benda uji yang direndam, menunjukkan bahwa campuran CTRB yang

mengandung 40% RAP memiliki nilai ITS lebih tinggi pada pengujian terhadap benda uji yang direndam dalam air (*soaked*). Sedangkan pada campuran yang mengandung 60% RAP, nilai ITS yang tinggi diperoleh pada pengujian terhadap benda uji yang tidak direndam (*unsoaked*). Hal ini disebabkan karena kandungan RAM yang cukup besar (60%) pada campuran yang mengandung 40% RAP, dimana agregat RAM menyerap air cukup besar ketika benda uji direndam, sehingga adanya air yang masuk ke dalam pori-pori agregat mengakibatkan adanya tekanan balik (*pore pressure*) ketika benda uji ditekan. Semakin besar kandungan RAM dalam campuran, semakin besar tekanan balik yang diberikan ketika benda uji ditekan, semakin besar nilai ITSnya. Tabel 7 menunjukkan *Tensile Strength Ratio* (TSR) antara ITS *soaked* dengan ITS *unsoaked* dari campuran CTRB yang mengandung 40% RAP dan 60% RAP, dari tabel ini terlihat bahwa campuran CTRB yang mengandung 40% RAP memiliki TSR  $> 1$  yang berarti memiliki nilai ITS *soaked*  $>$  dari nilai ITS *unsoaked* sedangkan campuran CTRB yang mengandung 60% RAP, memiliki TSR  $< 1$  yang berarti memiliki nilai ITS *soaked*  $<$  nilai ITS *unsoaked*.

**Tabel 7. TSR campuran 40% RAP dan campuran 60% RAP**

Campuran	<i>Tensile strength ratio</i>	
	60	
	40% RAP	60% RAP
A1	1,07	0,91
B1	1,38	0,80
C1	1,23	0,77
A2	1,11	0,77
B2	1,06	0,77
C2	1,10	0,88
A3	1,16	0,88
B3	1,09	0,71
C3	1,10	0,77

Tabel 7. adalah perkiraan susut yang dapat terjadi pada campuran semen (Beton) berdasarkan nilai ITS (psi) yang dicapai oleh campuran menurut AASHTO, 93. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa semakin besar nilai ITS campuran semakin kecil kemungkinan susut yang dapat terjadi dan semakin kecil pula kemungkinan retak pada campuran. Berdasarkan tabel ini, maka perkiraan susut yang dapat terjadi pada campuran CTRB yang disubstitusi parsial dengan tras dalam penelitian ini adalah sebesar 0,00080 in/in karena nilai ITS yang diperoleh dari kedua campuran CTRB pada kadar semen 4%-6% dengan substitusi 15%-30% tras adalah  $> 250$  kPa (36,26 psi) yaitu  $\leq 300$  psi, dimana untuk campuran dengan nilai ITS  $\leq 300$  psi maka perkiraan susut yang dapat terjadi adalah sebesar 0,00080 in/in.

**Tabel 8. Perkiraan hubungan antara susut dan ITS pada campuran semen**

ITS (psi)	Susut (inch/inch)
≤ 300	0,00080
400	0,00060
500	0,00045
600	0,00030
≥ 700	0,00020

Sumber: AASHTO, 1993

Hasil pengujian ITS terhadap benda uji yang tidak direndam dan benda uji yang direndam, baik terhadap campuran yang mengandung 40% RAP maupun campuran yang mengandung 60% RAP, menunjukkan bahwa substitusi 15%-30% tras dalam campuran yang mengandung kadar semen 4%-6% menghasilkan nilai ITS  $\geq 250$  kPa dan melampaui nilai ITS yang dicapai oleh campuran yang distabilisasi dengan semen saja. Berdasarkan perkiraan susut yang dapat terjadi sebagaimana dinyatakan oleh AASHTO, 93, maka kemungkinan *shrinkage cracking* karena adanya susut yang terjadi pada lapis perkerasan, adalah sebesar 0,00080 in/in. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi tras terhadap semen dalam campuran CTRB sanggup meningkatkan ketahanan terhadap tegangan tarik dan mengurangi sifat ekspansif campuran sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya retak pada lapis perkerasan.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian ITS yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan dapat diambil yaitu:

1. Penggunaan RAP dalam campuran CTRB berpengaruh positif pada peningkatan ketahanan terhadap tegangan tarik dari campuran CTRB, dimana campuran yang mengandung 60% RAP memiliki nilai ITS > dari campuran yang mengandung 40% RAP.
2. Pada campuran CTRB yang mengandung 40% RAP maupun yang mengandung 60% RAP, pencapaian nilai ITS  $\geq 250$  kPa adalah pada kadar semen 4%-6%.
3. Substitusi tras sebesar 15%-30% terhadap 4%-6% semen dalam campuran CTRB berpengaruh positif pada peningkatan kepadatan serta ketahanan terhadap tegangan tarik sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya retak pada campuran perkerasan.

## Daftar Pustaka

- AASHTO, 1972. *AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structure*, American Association of State Highway Officials. Subcommittee on Roadway Design.
- AASHTO, 1993. *AASHTO Guide For Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
- AASHTO-AGC-ARTBA Joint Committee, 1998. *Report on Recycling of Asphalt Pavement. Task Force 38 Report*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
- AASHTO, 2004. *Standard specification for Classification of Soil and Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purpose*. AASHTO Designation: M 145-91.
- ACI Committee 232. 1R-00. 2001. *Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete*, Report.
- ACI Committee 232-2R. 1996. *Use of Fly Ash in Concrete* American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- ACPA (American Concrete Pavement Association), 2009. *Recycling Concrete Pavement*.
- ASTM, 2008. *Practice for Classification of soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM D 2487-06e1.
- Bang S., Kraft P., Leibrock C., Lein W., Roberts L., Sebaaly P., Johnston D., and Huft D., 2012. *Quality Base Material Produced Using Full Depth Reclamation on Existing Asphalt Pavement Structure – Task 5: Development of Standardized Laboratory Testing Method FHWA-HIF*.
- Camacho R. E. and Afif U. R., 2002. *Importance of using the natural pozzolans on concrete durability*, Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp. 1851-1858.
- Cheng A.S., Yen T., Liu Y.W. and Sheen Y.N., 2008. *Relation Between Porosity and Compressive Strength of Slag Concrete*, ASCE Download from ASCE library org.
- Consoli N.C., Fonseca A.V., Cruz R.C. and Silva S.R., 2011. *Voids/Cement Ratio Controlling Tensile Strength of Cement-Treated Soil*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental*

- Engineering*. Vol. 137, No. 11, pp. 1126-1131. ASCE.
- Deniz D., Tutumluer E., Popovics J.S., 2009. *Expansive Characteristics of reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Used as Base Materials*, Illinois Center for Transportation, Civil Engineering Studies, Research Report ICT-09-055.
- Guthrie W.S., Sebasta S., and Scullion T., 2002. *Selecting Optimum Cement Content for Stabilizing Aggregate Base Materials*, FHWA/TX-05/Technical Report 7-4920-2.
- Halsted G. E.P.E., 2007. *Long-Term Performance of Full-Depth Reclamation with Portland Cement: Research Synopsis*, Portland Cement Association.
- Jongpradist P., Jumlongrach N., Youwai S. and S. Chucheepsakul, 2010. Influence of Fly Ash on unconfined Compressive Strength of Cement at High Water Content, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 22, No.1, ASCE, pp 49-58.
- Mehta P. K., 1987. *Natural Pozzolans: Supplementary Cementing Materials for Concrete*, CANMET-SP-86-8E, Canadian Government Publishing Center, Supply and Services, Ottawa, Canada, K1A0S9.
- Mindess S. and J.F. Young, 1981. *Concrete*, Prentice-Hall, Inc. EngleWood Cliffs, N.J. 07632.
- Monkman S. and Y. Shao, 2006. Assessing the Carbonation Behavior of Cementitious Materials. *Journal of Material in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 18, No. 6, pp. 768-776.
- Nantung, T., Ji Y., Shields T., 2011. *Pavement Structural Evaluation and Design of Full- Depth Reclamation (FDR) Pavement*, Submitted for presentation and possible publication in the 90th Transportation Research Board Annual meeting, January 2011.
- Papadakis V.G. and S. Tsimas, 2002. *Supplementary Cementing Materials in Concrete Part I: efficiency and design* Cement and Concrete Research. Vol. 32, pp 1525-1532.
- Puppala A. J., Hoyos L.R. and Potturi A.K., 2011. Resilient Moduli Response of Moderately Cement-Treated Reclaimed Asphalt Pavement Aggregates. *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 23, No. 7, pp. 990-998.
- Scullion T.S., S. Sebasta J.P. Harris, and I. Syed., 2000. *A Balanced Approach to Selecting the Optimal Cement Content for Soil-Cement Bases*. Report 404611-1. Texas Transportation Institute, Texas A&M University System, College Station, TX.
- Setyawan A., Muda A., and S. As'ad, 2013. *Unconfined Compressive Strength and Drying Shrinkage of Cement Treated Recycling Base at Bayolali-kartosuro Road rehabilitation*, Advance Materials Research, Vol. 626, pp 34-38.at www.scientific.net.
- Tanudjaja H., Sugiri S.M. dan Khosama L.K., 2000. *Beton dengan Batu Andesit sebagai Agregat Kasar dan Tras Halus sebagai Substitusi Parsial Semen*, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.
- Wirtgen, 2004. *Cold Recycling Manual*, 2nd Edition. Wirtgen, GmbH, Germany.
- Yetgin S., Cavdar A., 2006. Study of Effect of natural Pozolan on Properties of Cement Mortars, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 18, No. 6, pp. 813-816.