

## Evaluasi Sifat-Sifat Mekanik Campuran CTRB yang Disubstitusi Parsial dengan Pozolan Alam (Tras)

**Joice Elfrida Waani**

Program Doktor Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Email: joicewaani@yahoo.com

**Sri Prabandiyani**

Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, E-mail: wardani\_spr@yahoo.com

**Bagus Hario Setiadji**

Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, E-mail: bhsetiadji@yahoo.com

### Abstrak

*Penggunaan material RAP dan RAM yang distabilisasi dengan semen untuk diaplikasikan sebagai lapis pondasi perkerasan jalan, dikenal dengan campuran Cement Treated Recycling Base (CTRB) adalah metode yang penggunaannya sudah cukup kembang di Indonesia. Teknik ini, telah diaplikasikan pada beberapa proyek konstruksi dan rehabilitasi jalan. Penggunaan material daur ulang dalam campuran perkerasan jalan, disamping dapat menghemat biaya konstruksi juga dapat mengurangi pengaruh buruk terhadap lingkungan. Disamping itu, substitusi material pozolan dalam campuran semen dapat meningkatkan kepadatan campuran yang pada akhirnya berpengaruh positif pada karakteristik mekanik dari campuran. Dalam penelitian ini, Unconfined Compressive Strength Test (UCS) atau pengujian kuat tekan dan California Bearing Ratio (CBR) dilakukan untuk melihat pengaruh substitusi parsial tras (pozolan alam) terhadap semen pada sifat-sifat mekanik campuran CTRB dalam hal ini kuat tekan dan daya dukung campuran. Berdasarkan data hasil pengujian, sekalipun kekuatan campuran ( $q_u$ ) menurun pada awal umur campuran karena adanya substitusi tras terhadap semen, tetapi seiring dengan bertambahnya waktu, kekuatan campuran berangsur-angsur meningkat bahkan melampaui kekuatan campuran yang distabilisasi dengan semen saja, yaitu pada substitusi 15% tras terhadap 6% semen untuk kedua campuran CTRB, yaitu campuran yang mengandung 40% RAP : 60% RAM dan yang mengandung 60% RAP : 40% RAM. Adapun daya dukung (CBR) yang dicapai setelah substitusi tras terhadap semen adalah melampaui 100% untuk kedua campuran tersebut.*

**Kata-kata Kunci:** CTRB, Kuat tekan, CBR, RAP, RAM, Tras.

### Abstract

*The use of stabilized Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) and Recycled Asphalt Materials (RAM) as pavement structural base layer, recognized as Cement Treated Recycling Base (CTRB) material in Indonesia, is a very well established practice in the field. This technique has been applied in the field in some pavement major rehabilitation and reconstruction projects successfully. 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, the use of pozzolan in cement-stabilized material may increase the density of the pavement layer to benefit the properties of the stabilized material. In this research study, Unconfined Compressive Strength (UCS) Test and California Bearing Ratio (CBR) serve as surrogate indicators of compressive strength and bearing capacity of pavement base layers to the density of the CTRB materials from the influence of partial cement replacement. From the research results, although the early strength gain is decrease but the ultimate compressive strength of the CTRB materials with partial cement replacement increases with the increase in the curing period of the samples, exceeding that of the samples without cement replacement. The results are very convincing in the mixtures of 15% cement replacement with natural pozzolan with the 6% cement contents for two CTRB mixtures in 40% RAP - 60% RAM and 60% RAP - 40% RAM mixture combinations. The bearing capacity from the CBR tests indicated that the CBR values were more than 100% for this two CTRB mixtures.*

**Keywords:** CTRB, Unconfined Compressive Strength, California Bearing Ratio, RAP, RAM, Tras.

## 1. Pendahuluan

Penggunaan material perkerasan jalan baik yang berasal dari lapis permukaan, dikenal dengan *Reclaimed Asphalt pavement* (RAP) dan material yang berasal dari lapis pondasi, 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) pada konstruksi perkerasan jalan, merupakan salah satu teknologi yang efektif untuk mengantisipasi permasalahan kelangkaan material baik aspal maupun agregat, juga dalam rangka penghematan biaya konstruksi (Nantung et al., 2011; Deniz et al., 2009; Halsted, 2007). Chappat and Bilal (2003) menyatakan, penggunaan teknologi daur ulang campuran dingin, lebih ramah lingkungan karena mengkonsumsi energi yang relatif kecil dibandingkan dengan campuran perkerasan konvensional. Namun demikian, terbatasnya kinerja struktural dari perkerasan ini serta berbagai kendala antara lain tidak meratanya karakteristik dari material daur ulang, membatasi penggunaan metode ini untuk diaplikasikan pada konstruksi perkerasan jalan (Puppala et al., 2011; Goonam and Wilburn, 1998).

Material pozolan, baik pozolan alam maupun pozolan buatan, adalah material yang dapat ditambahkan pada campuran semen (*supplementary cementing materials*, SCMs) karena sifatnya yang seperti semen jika dicampur dengan kapur padam dan air. Tras sebagai material pozolan alam adalah merupakan salah satu material yang memiliki sifat-sifat tersebut (Tanujaya et al., 2000; Indrawati and Manaf, 2011). Yetgin and Cavdar (2006) menyatakan, bahwa penambahan atau substitusi material pozolan (tras) terhadap semen dalam campuran sekalipun mengakibatkan berkurangnya kekuatan campuran pada awal umur campuran, tetapi dengan bertambahnya umur campuran kekuatan campuran ikut meningkat pula. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh substitusi tras terhadap semen pada peningkatan sifat-sifat mekanik yaitu kuat tekan dan daya dukung dari campuran CTRB.

## 2. Tinjauan Pustaka

Daur ulang material lapis permukaan (RAP) dan material lapis pondasi (RAM) perkerasan jalan yang distabilisasi dengan semen untuk diaplikasikan sebagai lapis pondasi pada perkerasan jalan adalah teknologi yang sudah berkembang, baik untuk rekonstruksi maupun rehabilitasi konstruksi perkerasan jalan di Indonesia (Setyawan et al., 2013; Widayat dan Nono, 2009). Aplikasi dari teknologi ini pada konstruksi perkerasan jalan, adalah merupakan suatu bentuk kepedulian dari para peneliti dan praktisi perkerasan jalan terhadap masalah keterbatasan sumber daya alam

dan isu-isu lingkungan yang menjadi perhatian dunia (Fwa, 2010). Teknologi ini menggunakan material agregat dari lapis permukaan jalan yang sudah terbungkus aspal yaitu dikenal dengan *reclaimed asphalt pavement* (RAP) dan juga material agregat lapis pondasi yang tidak mengandung aspal yaitu dikenal dengan *reclaimed aggregate material* (RAM) dan menggunakan material stabilisasi yaitu semen (Yuan et al., 2011; Guthrie et al., 2002; Taha et al., 2002). Penelitian yang dilakukan oleh Guthrie et al. (2007) menganjurkan, kadar RAP yang dapat digunakan untuk campuran yang distabilisasi dengan semen 1%-2% adalah diantara 50%-75%. Penggunaan material RAP dan RAM untuk diaplikasikan kembali sebagai lapis pondasi pada perkerasan jalan disamping dapat menghemat biaya konstruksi, juga sebagai bentuk konservasi lingkungan dengan mengurangi terbentuknya daerah *quarry* karena penggunaan material agregat baru (*virgin aggregate*) serta mengurangi sampah padat yang berasal dari material jalan yang rusak.

Penambahan material semen dalam campuran ini selain bermaksud untuk meningkatkan karakteristik mekanik dari campuran, juga untuk meningkatkan karakteristik fisik dari campuran yang mengandung RAP dan RAM (Guthrie et al., 2007; Brown, 2006). Namun demikian, sebagaimana sifat dari campuran semen yang mudah retak, penambahan semen pada campuran ini juga dapat mengakibatkan keretakan (Guthrie et al., 2002; Scullion, 2000). Oleh karena itu, penambahan kadar semen dalam campuran perlu dilakukan seefektif mungkin atau perlu ditambahkan bahan stabilisasi lain, selain semen untuk meningkatkan karakteristik fisik dan mekanik dari campuran ini (Wirtgen, 2004). Tras adalah material pozolan alam yang dihasilkan dari pelapukan material hasil erupsi gunung berapi. Material ini dapat bersifat seperti semen (*cement like*) jika dicampur dengan air dan kapur padam yang terkandung dalam semen. Mindess and Young (1981) menyatakan bahwa, proses hidrasi semen menghasilkan *calcium silicate hydrate* ( $C_3S_2H_3$ ) yang terbentuk dari:

Tricalcium silicate dengan air sebagai berikut:



Dicalcium silicate dengan air sebagai berikut:



*Calcium silicate hydrate* ( $C_3S_2H_3$  atau CSH) merupakan senyawa yang memperkuat beton, sedangkan kapur padam (CH) adalah senyawa yang poros dan melemahkan beton. ASTM (1993) mensyaratkan bahwa material yang memiliki komposisi kimia  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  dan  $Al_2O_3 \geq 70\%$  dapat digunakan sebagai mineral tambahan pada campuran semen. Disamping itu, substitusi tras terhadap semen dimaksudkan untuk

mengurangi penggunaan semen dalam industri konstruksi agar supaya secara tidak langsung dapat mengurangi polusi udara yang diakibatkan oleh produksi semen (Bentur, 2002). Berdasarkan data hasil pemeriksaan kimia, tras yang berasal dari Manado, yang digunakan dalam penelitian ini, memenuhi persyaratan sebagaimana yang dinyatakan oleh ASTM (ASTM C618-93).

Jongpradist et al. (2010) dan Paya et al. (1997) menyatakan bahwa dengan menghaluskan material pozolan (*fly ash*) dapat meningkatkan *specific surface* dari material tersebut dan peningkatan *specific surface* dapat meningkatkan karakteristik campuran bila ditambahkan atau disubstitusikan dalam campuran semen. Pengujian kuat tekan terhadap campuran beton atau campuran semen pada umumnya dilakukan untuk melihat pengaruh beberapa variabel terhadap kekuatan campuran. Penggunaan pengujian ini untuk campuran beton maupun campuran perkerasan jalan yang distabilisasi dan campuran stabilisasi tanah dengan semen terbukti sangat efektif karena murah serta mudah dalam pelaksanaannya (Indrawati and Manaf, 2011; Miller et al, 2007; Sengul and Tasdemir, 2009). Adapun pengujian CBR dilakukan untuk melihat daya dukung campuran CTRB terutama akibat pengaruh dari meningkatnya kepadatan campuran karena adanya substitusi tras terhadap semen. Li et al. (2008) melaporkan, hasil pengujian yang dilakukan terhadap material perkerasan yang didaur ulang dan diaplikasikan sebagai lapis pondasi, menunjukkan peningkatan nilai CBR dan resilien modulus ( $M_r$ ) karena adanya *fly ash* dan secara langsung mempengaruhi kinerja perkerasan serta waktu pelayanan. Studi yang dilakukan oleh Baugh dan Edil (2008) terhadap material RAP dan RAM yaitu agregat beraspal dan *limestone* dari lapis pondasi yang distabilisasi dengan *cement kiln dust* (CKD) menghasilkan nilai CBR 6-9 kali lebih tinggi dari pada campuran RAP dan RAM tanpa bahan stabilisasi setelah umur campuran mencapai 7 hari.

### 3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh penambahan atau substitusi tras terhadap semen pada kepadatan campuran CTRB yang secara langsung dapat mempengaruhi kekuatan tekan ( $q_u$ ) dan daya dukung (CBR) dari campuran ini.

### 4. Material yang Digunakan

#### 4.1 RAP dan RAM

Material RAP yang digunakan dalam penelitian ini adalah berasal dari campuran aspal beton, 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 Cidangpinggan-Palimanan di Cirebon, Jawa barat.

#### 4.2 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 berupa bongkahan-bongkahan dan bergradasi 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* ( $G_s$ ) tras setelah dihaluskan dan lolos saringan no.325 adalah 2.42 dan strength activity indexnya adalah 79% (*curing time* 7 hari) dan sebesar 85% (*curing time* 28 hari).

### 5. Prosedur Pengujian

Dalam penelitian ini, pengujian sifat-sifat fisik dari RAP dan RAM adalah meliputi pengujian analisa saringan (SNI 03-1968-1990), pengujian berat jenis dan absorpsi (SNI 03-1969-2008). Khusus untuk material RAM dilakukan pengujian abrasi dan pengujian Batas-Batas Atterberg (SNI 03-2417-2008 dan SNI 03-1967-1990). Pengujian sifat-sifat Semen dan tras yang dilakukan dalam penelitian ini adalah meliputi pengujian *specific gravity* (ASTM C 311-96a), gradasi (ASTM C 311-96a) dan strength activity index (ASTM C 311-96a). 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. Variasi perbandingan RAP dan RAM serta kadar semen dan tras dalam campuran CTRB adalah sebagaimana dinyatakan dalam **Tabel 1**. Pengujian kepadatan campuran ini mengikuti prosedur standar SNI 03-1742-1989. Setelah mendapatkan kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD) untuk semua variasi campuran, selanjutnya dibuat benda uji untuk pengujian kuat tekan dan CBR berdasarkan OMC dan MDD yang diperoleh dari pengujian pemadatan. Pelaksanaan pengujian kuat tekan dilakukan setelah benda uji berumur 6 hari, 13 hari dan 27 hari dan masing-masing ditambah 1 hari direndam dalam air. Pengujian ini mengikuti standar pengujian Kuat Tekan Beton Campuran SNI 03-1964-2008 dengan jumlah sampel masing-masing 54 untuk 3x pengulangan pada setiap *curing time*, sehingga jumlah sampel total untuk pengujian UCS adalah 162 sampel. Sedangkan pengujian CBR dilakukan mengikuti standar SNI-03-1744-1989, dengan jumlah total sampel 54 untuk 3x pengulangan.

Tabel 1. Komposisi campuran CTRB

RAP :Agg Base (%)	C <sub>iv</sub> (%) Cement Content	T <sub>w</sub> (%) Trass Content	Curing Time (days)
40 : 60	2; 4; 6 <i>(by weight of total RAP and aggregate base material)</i>	0; 15; 30 <i>(by weight of cement)</i>	7; 14; 28



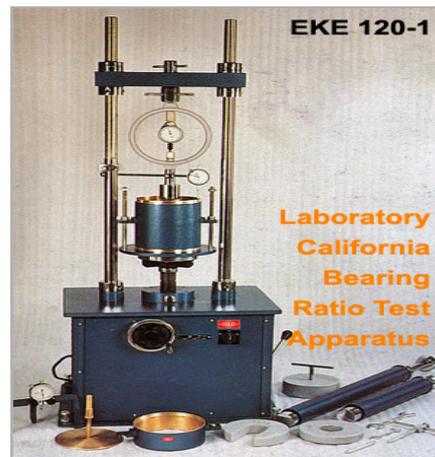
Gambar 1. Alat uji unconfined compressive test

## 6. Hasil Pengujian

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 3. Hasil pengujian sifat-sifat kimia dari tras adalah seperti yang dinyatakan dalam Tabel 3. Data hasil pengujian indeks plastis menunjukkan bahwa kedua jenis RAM bersifat non platis, sedangkan hasil analisa saringan 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).

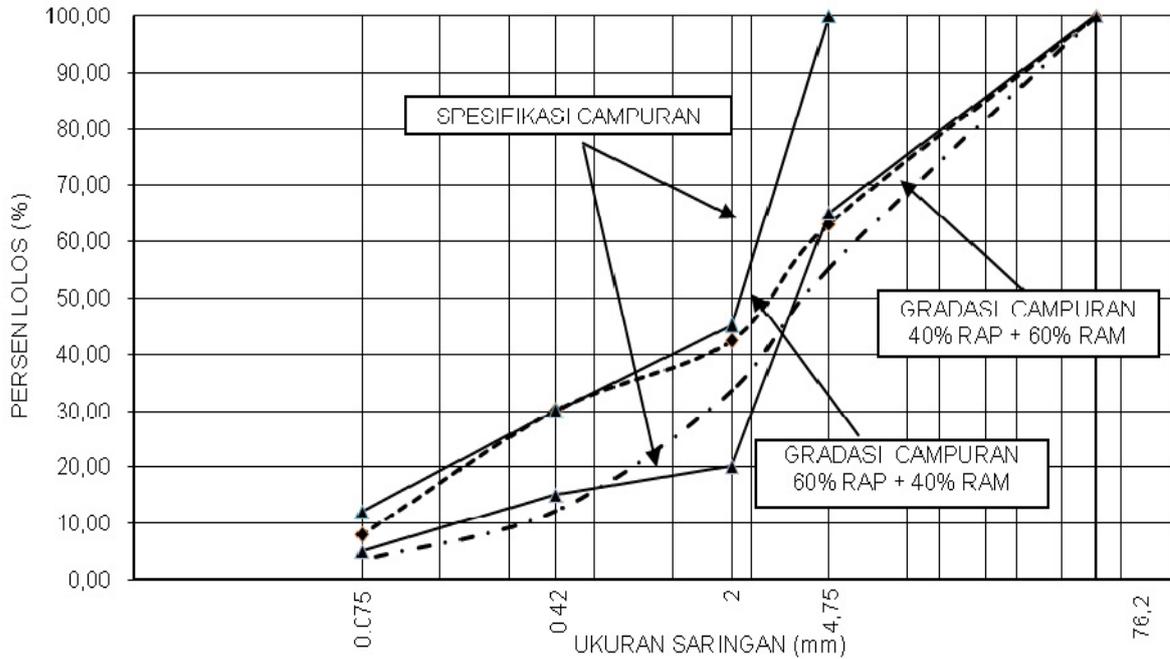
Perbedaan gradasi dari kedua campuran ini disebabkan karena komposisi RAP dan RAM yang berbeda serta sumber dari RAP dan RAM yang berbeda pula. Data yang terlihat pada Tabel 2. dan Gambar 1. juga menunjukkan bahwa kedua campuran, masing-masing dengan perbandingan 40% RAP : 60% RAM dan 60% RAP : 40% RAM,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



Gambar 2. Alat uji California Bearing Ratio

Tabel 2. Pengujian sifat fisik RAP dan RAM

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian								Metode Pengujian	
		RAM				RAP					
		Dawulan		Cirebon		Dawulan		M.T. Haryono			
1.	Abrasi	20,00		29,1						SNI 03-2417-2008	
		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 03-1969-2008	
3.	Berat Jenis SSD	2,73	2,61	2,40	2,36	2,54	2,63	2,50	2,52	SNI 03-1969-2008	
4.	Berat Jenis Apparent	2,79	2,73	2,57	2,58	2,63	2,74	2,56	2,62	SNI 03-1969-2008	
5.	Berat Jenis Efektif	2,75	2,63	2,43	2,40	2,55	2,66	2,51	2,54	SNI 03-1969-2008	
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 03-1970-2008	
8.	Analisa Saringan	Gambar 1.								SNI 03-1968-1990	
9.	Indeks Plastisitas (PI)	NP		NP		-		-		SNI 03-1967-1990	



Gambar 3. Gradasi gabungan 40% RAP : 60% RAM dan 60% RAP : 40% RAM

Hasil pengujian sifat-sifat kimia dari tras sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3, menunjukkan bahwa tras yang berasal dari Manado memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh ASTM dan dapat digunakan sebagai mineral tambahan pada campuran semen sebagaimana dinyatakan dalam ASTM C618-93 (Tabel 4).

Hasil pengujian pemadatan dari campuran CTRB yang mengandung 40% RAP : 60% RAM serta campuran yang mengandung 60% RAP : 40% RAM adalah sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Gambar 4a. adalah grafik yang menyatakan kadar air optimum

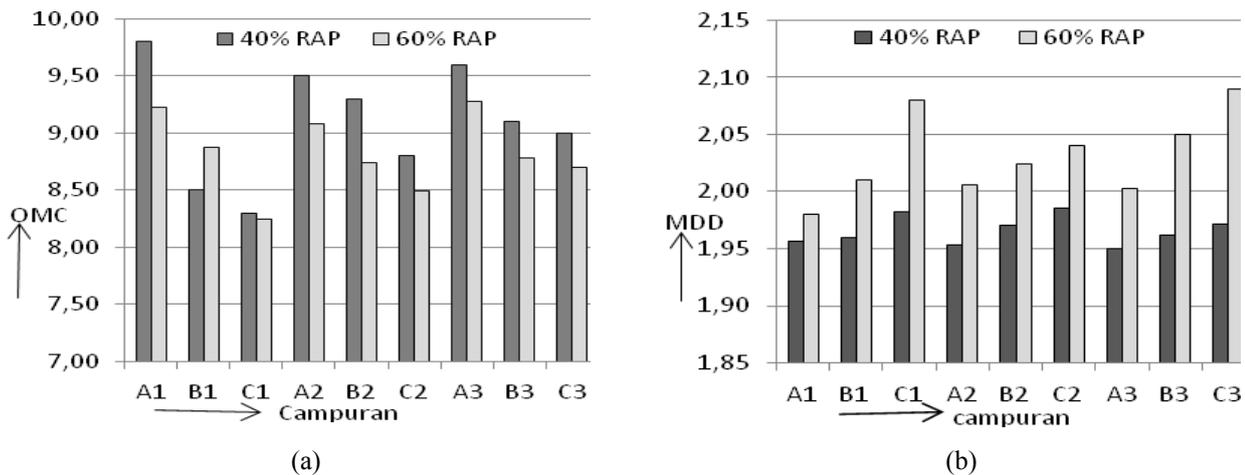
(OMC) dari kedua campuran CTRB dan Gambar 4b. adalah grafik yang menyatakan kepadatan kering maksimum (MDD) dari kedua campuran CTRB tersebut. Dari Gambar 4a. terlihat bahwa kadar air optimum (OMC) dari campuran yang mengandung 40% RAP cenderung lebih tinggi dari pada campuran yang mengandung 60% RAP dan hal ini berlaku pada hampir semua variasi semen-tras. Sedangkan dari Gambar 4b. terlihat bahwa MDD dari campuran CTRB yang mengandung 60% RAP lebih tinggi dari pada campuran CTRB yang mengandung 40% RAP.

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> O	K <sub>2</sub> O	Total
Tras	69,99	18,61	0,17	7,06	3,16	-	-	0,21	-	-

Tabel 4. 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 %	7 <sup>th</sup> Day Flexural strength (Mpa)	7 <sup>th</sup> 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



Gambar 4. OMC (a) dan MDD campuran CTRB (b)

Gambar 5 adalah Hasil pengujian Kuat tekan ( $q_u$ ) dari campuran CTRB yang mengandung 40% RAP : 60% RAM (Gambar 5a, 5c, 5e) dan yang mengandung 60% RAP : 40% RAM (Gambar 5b, 5d, 5f). Dari gambar ini terlihat bahwa  $q_u$  dari kedua campuran CTRB meningkat seiring dengan meningkatnya kadar semen dalam campuran. Pada campuran yang mengandung 40% RAP (Gambar 5a, 5c, 5e) adanya substitusi 15% tras terhadap semen tidak mengakibatkan penurunan  $q_u$ , dan seiring dengan bertambahnya waktu, kekuatan campuran terus meningkat hingga melampaui campuran yang distabilisasi dengan semen saja. Sedangkan adanya substitusi 30% tras terhadap semen mengakibatkan terjadinya penurunan  $q_u$ . Pada campuran yang mengandung 60% RAP,  $q_u$  meningkat secara signifikan pada kadar semen yang relatif tinggi (6%) dan adanya penambahan atau substitusi tras terhadap semen dalam campuran mengakibatkan penurunan  $q_u$ . Namun seiring dengan bertambahnya waktu,  $q_u$  berangsur-angsur meningkat pula. Bahkan pada substitusi 15% tras,  $q_u$  campuran ini dapat menyamai  $q_u$  dari campuran yang distabilisasi dengan semen saja.

Gambar 6 adalah hasil pengujian CBR dari campuran CTRB yang mengandung 40% RAP : 60% RAM dan yang mengandung 60% RAP : 40% RAM. Dari gambar ini terlihat bahwa campuran yang mengandung 60% RAP memiliki nilai CBR lebih tinggi dari pada campuran yang mengandung 40% RAP. Hasil pengujian CBR dari kedua campuran ini melampaui 100% untuk semua variasi kadar material semen (semen + tras), terkecuali pada substitusi tras yang besar (30%) terhadap kadar semen yang kecil (2%).

## 7. Pembahasan

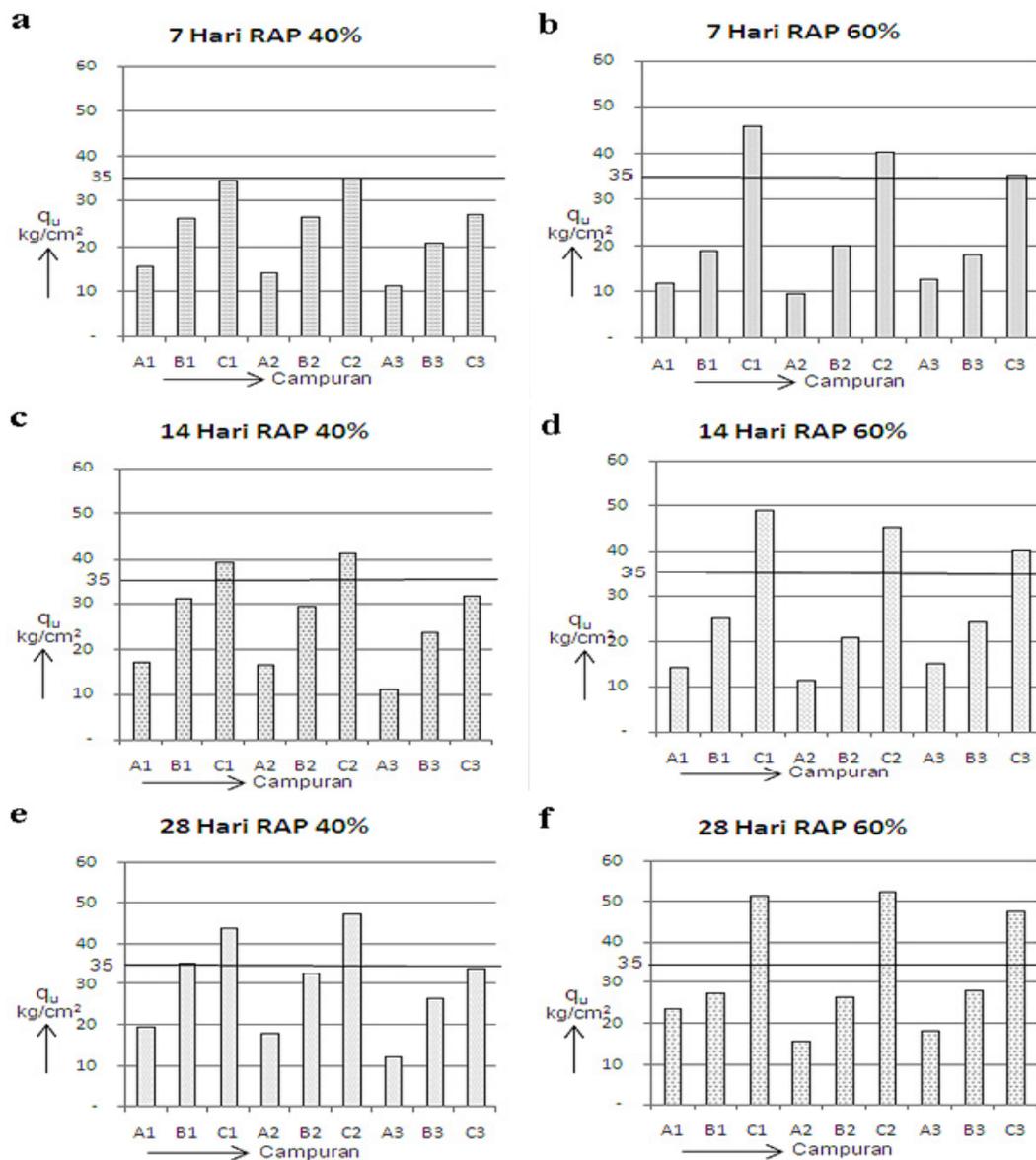
### 7.1 Hasil pengujian pematatan

Rendahnya nilai OMC dari campuran yang mengandung RAP yang besar (60%), disebabkan karena

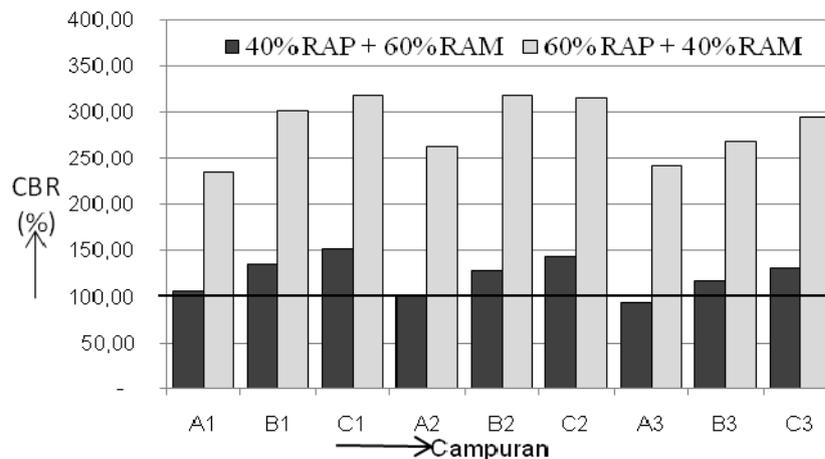
besarnya kandungan RAP (60%) dalam campuran, dimana adanya aspal yang membungkus permukaan agregat ini menghalangi penyerapan air ke dalam pori-pori agregat RAP, dan mengakibatkan kurangnya kadar air yang dibutuhkan untuk proses pematatan. Hal ini sejalan dengan apa yang dinyatakan oleh Guthrie (2007); Kim and Lobuz (2007). Sebaliknya, pada campuran CTRB yang mengandung 40% RAP, besarnya kandungan RAM (60%) dalam campuran mengakibatkan besarnya penyerapan air oleh agregat RAM, 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).

Pengaruh penambahan semen dalam campuran, mengakibatkan penurunan OMC pada kedua campuran CTRB, sedangkan substitusi tras terhadap semen mengakibatkan sedikit peningkatan nilai OMC pada kedua campuran CTRB. Hal ini disebabkan karena, penambahan material tras mengakibatkan peningkatan kebutuhan pasta (semen dan air) dalam campuran, namun demikian besarnya kebutuhan air karena adanya penambahan tras tidaklah sebesar penambahan tras dalam campuran. Hal ini sejalan dengan apa yang dinyatakan oleh Yetgin and Cavdar (2006); Monkman and Shao (2006); Jongpradist et al. (2010), dimana hal ini menjadi suatu keuntungan dari adanya substitusi tras terhadap semen, dimana tras membantu mengurangi kebutuhan akan air yang berlebihan (Camacho and Afif, 2002).

Gambar 2b. menunjukkan bahwa kepadatan kering maksimum (MDD) dari campuran yang mengandung 60% RAP sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan campuran CTRB yang mengandung 40% RAP. Hal ini disebabkan karena kadar aspal yang terkandung dalam



Gambar 5. Grafik hubungan antara  $q_u$  dengan kadar semen dan tras



Gambar 6. Grafik hubungan antara CBR dengan kadar semen dan tras

campuran yang mengandung 60% RAP cukup besar, dimana aspal tersebut berperan sebagai pelumas selama proses pemadatan dan berpengaruh positif pada peningkatan kepadatan campuran. Hal ini sebagaimana dinyatakan oleh Bang et al. (2012) bahwa semakin besar kadar RAP dalam campuran semakin padat campuran tersebut hingga pada batas tertentu. 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. Adapun pengaruh penambahan kadar material semen (semen + tras) terhadap campuran CTRB yang mengandung 40% RAP mengakibatkan peningkatan MDD, yaitu pada substitusi 15% Tras terhadap semen. Sedangkan pada substitusi 30% tras terhadap semen mengakibatkan sedikit penurunan nilai MDD. Hal ini disebabkan karena kandungan material RAM yang cukup besar dalam campuran dapat diikat dengan mudah oleh semen, tetapi adanya substitusi tras terhadap semen mengakibatkan berkurangnya kadar semen dalam campuran sehingga mengurangi kandungan kalsium yang dapat bereaksi dengan tras dan berakibat pada penurunan kepadatan campuran.

Pengaruh penambahan semen pada campuran CTRB yang mengandung 60% RAP, mengakibatkan peningkatan kepadatan (MDD) campuran. Adanya substitusi tras terhadap semen mengakibatkan peningkatan MDD, baik pada substitusi 15% maupun 30% tras terhadap semen. Hal ini disebabkan karena penambahan tras dalam campuran ini, selain mengakibatkan terjadinya reaksi pozolanik antara semen dan tras, juga tras yang tersisa dari reaksi pozolanik karena tidak dapat bereaksi dengan semen menjadi *filler* yang mengisi rongga dalam campuran sehingga meningkatkan kepadatan campuran. ACI, 2001 menyatakan, kandungan silika aktif (*amorphous silica glass*) yang terkandung dalam pozolan alam hanya 50%-60% dari total silika yang terkandung di dalamnya, dan selebihnya adalah *crystal silica* yang tidak dapat bereaksi dengan semen, sehingga tras yang tersisa dari reaksi pozolanik berfungsi sebagai *filler* yang mengisi rongga dalam campuran dan mengakibatkan kepadatan campuran meningkat.

## 7.2 Hasil pengujian kuat tekan

Pada campuran CTRB yang mengandung 40% RAP : 60% RAM (**Gambar 3a, 3c, 3e**), pencapaian kekuatan ( $q_u$ ) terjadi karena adanya semen dalam campuran dan semakin besar kadar semen, semakin meningkat  $q_u$ . Pada campuran ini, pengaruh penambahan semen dalam campuran dapat meningkatkan kekuatan campuran pada kadar semen yang relatif rendah. Hal ini disebabkan karena material RAM dalam campuran dapat dengan mudah diikat oleh semen, sehingga

mengakibatkan kekuatan campuran dapat terjadi pada kadar semen yang relatif rendah. Adapun pengaruh substitusi tras terhadap semen dalam campuran ini, mengakibatkan penurunan kekuatan campuran, akibat berkurangnya kadar semen karena adanya substitusi tras. Hal ini mengakibatkan berkurangnya kandungan kalsium hidroksida dalam campuran. Disamping itu, kandungan *amorphous silica glass* yang kecil dalam tras mengakibatkan kurangnya reaksi pozolanik yang dapat terjadi antara semen dan tras, sehingga mempengaruhi pencapaian kekuatan dari campuran ini. Hal ini sebagaimana yang ditunjukkan oleh hasil pengujian *strength activity index* (SAI) dari tras atau *pozzolanic activity Index* (PAI) yaitu sebesar 79% dan 85% masing-masing pada curing time 7 hari dan 28 hari. ACI Committee (2001) menyatakan bahwa Pozzolan alam (tras) hanya memiliki 50%-60% *amorphous silica glass* dari total silika yang terkandung didalamnya. Hal ini mengakibatkan reaksi pozolanik yang dapat terjadi antara semen dengan tras terbatas dibandingkan dengan reaksi pozolanik yang dapat terjadi antara semen dengan *fly ash*. Kurangnya reaksi pozolanik yang terjadi antara semen dengan tras dan berpengaruh pada ikatan antara agregat dengan material semen, menunjukkan bahwa pada campuran dimana kandungan RAMnya cukup besar, semen sangat berpengaruh pada pencapaian kekuatan campuran. Pada campuran ini, kadar material semen (semen + tras) yang menghasilkan kuat tekan sebagaimana yang disyaratkan dalam Spesifikasi khusus CTRB dan CTRSB yaitu 35 Kg/Cm<sup>2</sup> adalah pada kadar semen 4% -6% dengan substitusi 15% tras terhadap semen.

Pada campuran yang mengandung 60% RAP : 40% RAM (**Gambar 3b, 3d, 3f**), pencapaian kekuatan campuran yang signifikan terjadi pada kadar semen 6%. Hal ini disebabkan karena sebagian besar material dalam campuran ini adalah RAP, dimana material RAP telah terbungkus aspal dan menghalangi ikatan yang dapat terjadi antara RAP dengan semen sehingga mengakibatkan pencapaian  $q_u$  yang signifikan dari campuran ini baru terjadi pada kadar semen yang relatif tinggi. Hal ini juga diungkapkan oleh Brown et al. (2006) dan Yuan et al. (2011) yaitu peningkatan  $q_u$  dari campuran yang mengandung RAP tergantung pada besarnya kadar semen dalam campuran. Adapun pengaruh substitusi tras terhadap semen dalam campuran, mengakibatkan sedikit penurunan  $q_u$  karena semakin berkurangnya kadar semen dalam campuran, dan penurunan yang utama terjadi pada kadar semen 6%. Namun, seiring dengan bertambahnya *curing time*, penurunan  $q_u$  yang terjadi berangsur-angsur meningkat hingga melampaui 35 kg/cm<sup>2</sup> pada *curing time* 14 - 28 hari, baik pada substitusi 15% maupun 30% tras terhadap semen. Dengan demikian, untuk campuran CTRB yang mengandung 60% RAP, campuran yang memenuhi persyaratan spesifikasi CTRB adalah campuran yang mengandung kadar semen 6% dengan substitusi 15%-30% tras.

### 7.3 Hasil pengujian *California Bearing Ratio*

Tingginya nilai CBR dari campuran yang mengandung 60% RAP menunjukkan besarnya daya dukung dari campuran ini dibandingkan dengan campuran CTRB yang mengandung 40% RAP. Hal ini disebabkan karena besarnya kadar aspal yang terkandung pada agregat RAP yang berpengaruh positif pada peningkatan kepadatan campuran. Hal ini sejalan dengan apa yang dinyatakan oleh Guthrie et al. (2007) dan Bang et al. (2012), bahwa besarnya aspal dalam campuran hingga pada batas tertentu, berpengaruh positif dalam meningkatkan kepadatan campuran. Disamping itu gradasi dari campuran yang mengandung 60% RAP ini lebih halus sehingga lebih mudah dipadatkan. Gabr and Cameron (2012) menyatakan bahwa daya dukung atau nilai CBR dari suatu lapis perkerasan sangat dipengaruhi oleh kepadatan campuran perkerasan tersebut. Adanya substitusi tras terhadap semen yang berpengaruh positif pada peningkatan kepadatan campuran sebagaimana yang telah dijelaskan di atas, mengakibatkan besarnya daya dukung dari campuran CTRB yang mengandung 60% RAP. Berdasarkan spesifikasi khusus CTRB dan CTRSB daya dukung campuran yang memenuhi syarat adalah  $\geq 100\%$  (Bina Marga, 2006). Dengan demikian, daya dukung campuran CTRB yang mengandung 40% RAP maupun yang mengandung 60% RAP yang memenuhi persyaratan spesifikasi tersebut adalah pada kadar semen 2%, 4% dan 6% dengan substitusi tras sebesar 15%-30%. Hasil ini menunjukkan bahwa substitusi tras terhadap semen dalam campuran yang mengandung RAP yang cukup besar, berpengaruh positif pada peningkatan kepadatan campuran yang berimplikasi pada peningkatan daya dukung campuran CTRB.

### 8. Kesimpulan

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

1. Hasil pengujian Kuat Tekan menunjukkan, pada campuran CTRB yang mengandung 40% RAP, besarnya kadar semen yang menghasilkan kekuatan  $\geq 35 \text{ kg/Cm}^2$  adalah  $\geq 4\%$ , sedangkan pada campuran yang mengandung 60% RAP, besarnya kadar semen yang efektif dan menghasilkan kekuatan  $\geq 35 \text{ Kg/Cm}^2$  adalah sebesar 6%.
2. Pada Campuran CTRB yang mengandung 40% RAP, substitusi tras yang menghasilkan kuat tekan  $\geq 35 \text{ Kg/Cm}^2$  adalah sebesar 15%, sedangkan pada campuran yang mengandung 60% RAP, kadar tras yang menghasilkan Kuat Tekan seperti yang disyaratkan dalam spesifikasi khusus CTRB adalah sebesar 15%-30%.
3. Hasil pengujian CBR menunjukkan, bahwa baik pada campuran CTRB yang mengandung 40% RAP

maupun yang mengandung 60% RAP, besarnya kadar semen yang menghasilkan daya dukung  $\geq 100\%$  adalah pada kadar semen 2%, 4% dan 6%.

4. Pada kedua campuran CTRB (yang mengandung 40% RAP dan 60% RAP), substitusi tras terhadap semen yang menghasilkan daya dukung yang memenuhi persyaratan spesifikasi adalah pada substitusi 15%-30% terhadap kadar semen 2%, 4% dan 6%.
5. Substitusi tras terhadap semen dalam campuran CTRB terutama pada campuran yang mengandung RAP yang besar berpengaruh positif pada peningkatan kepadatan serta kekuatan ( $q_u$ ) dan daya dukung (CBR) campuran CTRB.

### Daftar Pustaka

- AASHTO, 1972, *AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structure*, American Association of State Highway Officials. Subcommittee on Roadway Design.
- AASHTO, 2004, *Standard Specification for Classification of Soil and Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purpose*, AASHTO Designation: M 145-91.
- ACI, 2001, *Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete*, Committee 232. 1R-00 Report.
- ASTM, 1993, *Standart Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozolan for Use as a Mineral Admixtures in Portland Cement Concrete*, ASTM C 618-93.
- ASTM C 311-96a, *Standard test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*.
- ASTM, 2008, *Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes*, (Unified Soil Classification System) ASTM D 2487-06<sup>11</sup>.
- 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.i
- Baugh, J.S. and Edil, T.B., 2008, *Suitability of Cement Kiln Dust for Reconstruction of Road*, Final Report to Postland Cement Association, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin-Madison, madison, WI,50.

- Bentur, A., 2002, Cementitious Material-Nine Milenia and A New Century: Past, Present and Future, *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, Vol. 14, No.1, pp. 2-22.
- Bina Marga, 2006, *Spesifikasi Khusus Cement Treated Recycling Base and Sub Base untuk Campuran yang Dicampur Langsung di Tempat*.
- Brown, A.V., 2006, *Cement Stabilization of Aggregate Base Material Blended With Reclaimed Asphalt Pavement*, Thesis in Master of Civil Engineering, Birmingham Young University, USA: Department of Civil and Environmental Engineering,
- BSN (Badan Standarisasi Nasional), Pengujian Ketahanan Agregat Terhadap Keausan Dengan Mesin Abrasi Los Angeles, SNI 03-2417-2008.
- BSN (Badan Standarisasi Nasional), *Pengujian Berat Jenis Agregat*, SNI 03-1969-2008.
- BSN (Badan Standarisasi Nasional), *Pengujian Penyerapan Agregat*, SNI 03-1970-2008.
- BSN (Badan Standarisasi Nasional), *Pengujian Kuat Tekan Beton*, SNI 03-1964-2008.
- BSN (Badan Standarisasi Nasional), *Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar*, SNI 03-1968-1990
- BSN (Badan Standarisasi Nasional), *Pengujian Batas-Batas Atterberg*, SNI 03-1967-1990.
- BSN (Badan Standarisasi Nasional). "Pengujian Kepadatan Campuran". SNI 03-1742-1989.
- BSN (Badan Standarisasi Nasional), *Pengujian CBR*, SNI 03-1744-1989
- 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.
- Chappat, M. and Bilal, J., 2003, *The Environmental Road of the Future: Life Cycle Cost Analysis, Energy Consumption and Greenhouse Gas Emission*, Report of Colas Group, Franch.
- Deniz, D., Tutumluer, E., Popovics, J.S., 2009, *Expansive Characteristics of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Used as Base Materials*. Illionis Center for Transportation, Civil Engineering Studies, Research Report ICT-09-055.
- Fwa, T.F., 2010, *Challenges In Environmentally Sustainable Pavement Recycling*, Semarang, Indonesia: Paper Presented at The Seventh Asia Pacific Conference on Transportation and the Environment, 3-5 June.
- Gabr, A.R. and Cameron, D.A., 2012, Properties of Recycled Concrete Aggregate for Unbound Pavement Construction, *Journal of Materials in Civil Engineering*. Vol. 24, No. 6, ASCE pp. 754-764.
- Goonam, T.G. and Wilbrun, D.R., 1998, *Aggregate from Natural and Recycled Sources: Economic Assessment for Construction Application—A Material Flow Analysis*. U.S Geological Survey Circular, 1176.
- Guthrie, W.S., Sebasta, S., and Scullion, T., 2002, *Selecting Optimum Cement Content for Stabilizing Aggrrgate Base Materials*, FHWA/TX-05/Technical Report 7-4920-2.
- Guthrie, W.S., Roper, M.B., and Eggett, D.L., 2007, Evaluation of Laboratory Durability Tests for Stabillized Aggregate Base Materials, *Transportation Research Board 87<sup>th</sup> Annual Meeting, Portland Cement Association, PCA R&D Serial No. 3045*.
- Halsted, G.E.P.E., 2007, Long-Term Performance of Full-Depth Reclamation with Portland Cement: Research Synopsis, *Portland Cement Association*.
- Indrawati, V. and Manaf, A., 2011, Multiphases Hydration of the Actifated Binary Blend Portland Cement-trass, *Proc. of The 3<sup>rd</sup> International Conference of EACEF (European Asian Civil Engineering Forum)* Univ. Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia, September.
- Jongpradist, P., Jumlongrach, N., Youwai, S. and S. Chucheeprakul, 2010, Influence of Fly Ash on Unconfined Compressive Strength of Cement at High Water Content, *Journal of Materials in Civil Engeneering*, Vol. 22, No.1, ASCE, pp 49-58.
- Kim, W and J.F. Lobuz, 2007, Resilient Modulus and Strengthof Base Course with Recycled Bitumenous, Minnesota Department of Transportation, Report No. MN/RC-2007-05, Jan.
- Li, X., Marasteanu, M.O., and Williams, R.C., 2008, Effect of Reclaimed Asphalt Pavement (Proportion and Type) and Binder Grade on Asphalt Mixtures, *TRB: Journal of Transportation Research Board*, No. 2051, Washington, D.C: TRB of the National Academies, pp. 90-97.

- Miller, H.J., Guthrie, W.S., Crane, R.A., and Smith, B., 2007, *Evaluation of Cement Stabilized Full-Depth-Recycling Base Materials for Frost and Early Traffic Condition*, Federal Highway Administration and Recycled Material Resource center at the University of New Hampshire, Durham, New Hampshire.
- Mindess, S. and J.F. Young, 1981, *Concrete*, Prentice-Hall, Inc. EngleWood Cliffs, N.J. 07632
- Monkman, S. and Shao, Y., 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 90<sup>th</sup> Transportation Research Board Annual meeting, January.
- Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M.V., Peris, E and Gonzales-Lopez, E., 1997, Mechanical Treatments of Fly Ashes. Part III: Studies on Strength Development of Ground Fly Ashes (GFA)-Cement Mortars, *Cement and Concrete Research*. Vol 27. No 9, pp1365-1377.
- 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., Sebasta, S., Harris, J.P., and Syed, I., 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.
- Sengul, O and Tasdemir, M.A., 2009, Compressive Strength and Rapid Chlorine Permeability of Concrete with Ground Fly Ash and Slag, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 21, No. 9, ASCE, pp. 494-501.
- Setyawan, A., Muda, 34A., 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
- Taha, R., Al-Harthy, A., Al-Shamsi, K., and Al-Zubeidi, M., 2002, Cement Stabilization of Reclaimed Asphalt Pavement Aggregate for Road Base and Subbases, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 14, No. 3, pp 239-245.
- 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.
- Widayat dan Nono, 2009, *Teknologi Daur Ulang Perkerasan Jalan*, Makalah Semiloka Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia (HPJI).
- Wirtgen, 2004, *Cold Recycling Manual* 2<sup>nd</sup> 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.
- Yuan, D., Nazarian, S., Hoyos, L.R., and Puppala, A.J., 2011, *Evaluation and Mix Design of Cement-Treated Base materials with High Rap Content*, Annual TRB Meeting. Paper No. 11-2742.

