

KAJIAN PEMANFAATAN LIMBAH BETON SEBAGAI MATERIAL *CEMENT TREATED BASE* (CTB)

Fuad Izzatur Rahman, Adventus Kristian Tambunan, Ludfi Djakfar, Achfas Zacoeb
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Abstrak

Teknologi Cement Treated Base (CTB) memungkinkan untuk menggunakan dan memproses bahan limbah yang tidak memiliki nilai guna menjadi bahan material pondasi jalan. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode percobaan laboratorium. Pelaksanaan percobaan menggunakan campuran dengan proporsi daur ulang limbah beton sebagai agregat kasar : pasir sebagai agregat halus sebesar 50 : 50 dan 60 : 40. Penelitian ini dibuat Skenario I yaitu menggunakan proporsi 50 : 50 dengan kadar semen 9%, 10%, dan 11% serta kadar air 6%, 8%, 10%, dan 12%. Dalam rangka memaksimalkan daur ulang limbah beton dibuat Skenario II menggunakan proporsi 60 : 40 dengan kadar semen 3%, 4%, dan 5% serta kadar air 4%, 6%, dan 8%. Material daur ulang limbah beton dan pasir memenuhi persyaratan agregat dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Dari hasil penelitian skenario yang dapat digunakan adalah skenario I dengan proporsi 50 : 50. Kadar air optimum CTB untuk kadar semen 9%, 10%, dan 11% sebesar 8,96%, 9,98%, dan 9,31%. Nilai kuat tekan CTB daur ulang limbah beton umur 7 (tujuh) hari dengan kadar semen 9%, 10%, dan 11% yaitu sebesar 89,59 kg/cm², 79,89 kg/cm², dan 98,75 kg/cm². Nilai kuat tekan CTB daur ulang limbah beton umur 28 (dua puluh delapan) hari dengan kadar semen 9%, 10%, dan 11% yaitu sebesar 88,65 kg/cm², 104,43 kg/cm², dan 120,21 kg/cm². Nilai kuat tekan CTB umur 7 hari memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, sedangkan CTB umur 28 hari tidak memenuhi.

Kata Kunci : Daur Ulang, Limbah Beton, Pondasi Jalan, Base, Cement Treated Base, CTB, Semen, Nilai Kuat Tekan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterbatasan sumber daya alam dalam menyediakan material pembentuk beton merupakan sebuah persoalan yang penting. Keberadaan beberapa bangunan tua yang tidak digunakan lagi terpaksa dibongkar karena bangunan tersebut perlu diperbaharui, mengalami kerusakan, atau tidak layak lagi dihuni. Disisi lain, pembongkaran bangunan dan infrastruktur sipil yang terdiri dari material beton menimbulkan limbah beton. Limbah beton yang dibiarkan tanpa ada penanganan akan menimbulkan permasalahan tersendiri bagi lingkungan. Pembuangan limbah memerlukan biaya dan tempat pembuangan. Saat ini beton siap pakai (ready mix) sedang marak digunakan untuk pembuatan kontruksi bangunan, namun pada penerapannya sering terjadi kelebihan *supply* dan sisanya terkadang dibuang di sembarang tempat, sehingga dapat menimbulkan permasalahan baru.

Dalam 5 tahun terakhir, kondisi infrastruktur Indonesia terus berkembang. Infrastruktur jalan telah bertambah dari 34.629 km pada tahun 2004 menjadi 38.570 km pada tahun 2009. Demikian pula jalan tol sampai tahun 2010 telah berkembang menjadi 741 km (Kementrian Pekerjaan Umum, 2012). Jalan raya merupakan

salah satu infrastruktur utama yang sangat penting dalam menunjang pergerakan manusia. Oleh karena itu diperlukan pemeliharaan, rehabilitasi dan rekonstruksi agar kondisi jalan tetap aman dan nyaman untuk memberikan pelayanan terhadap lalu lintas kendaraan. Seiring dengan kepadatan lalu lintas yang terus meningkat, diperlukan infrastruktur jalan dan perencanaan lapis perkerasan yang baik. Dalam hal ini sarana perhubungan terutama pembangunan dan pengembangan jaringan jalan adalah sangat penting untuk menunjang perkembangan di sektor-sektor lainnya.

Kinerja perkerasan lentur yang berada pada daerah-daerah yang memiliki muka air tanah relatif tinggi sering mengalami kerusakan. Selain itu kepadatan lalu lintas memperparah kerusakan jalan raya. Untuk itu penggunaan lapis pondasi selain agregat (Unbound) sangatlah diperlukan, baik untuk pondasi jalan baru atau untuk memperbaiki pondasi jalan lama dengan daya dukung rendah dan kepadatan lalu lintas tinggi.

Salah satu upaya memperbaiki kerusakan pondasi jalan raya adalah dengan pengembangan teknologi *recycling* terhadap perkerasan yang rusak menjadi pondasi dan stabilisasi tanah dasar dengan semen. Prinsip dari kajian ini adalah

memanfaatkan material limbah beton yang sudah tidak digunakan untuk diolah dan ditambah bahan additive sehingga dapat dipergunakan kembali dengan nilai struktur yang lebih tinggi. Teknologi *Cement Treated Base* (CTB) memungkinkan untuk menggunakan dan memproses bahan limbah tidak memiliki nilai guna menjadi bahan material pondasi jalan. Pemerintah Indonesia melalui PP No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) telah menyerukan tentang bahaya limbah bahan berbahaya dan beracun terhadap lingkungan. Salah satu limbah B3 yaitu oli bekas kendaraan bermotor yang hingga saat ini pemanfaatannya masih minim.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Untuk memaksimalkan kegunaan dan manfaat material maka limbah beton digunakan sebagai material untuk lapis pondasi (*base course*) pada perkerasan lentur (*flexible pavement*).
2. Limbah beton yang sudah di pecah digunakan sebagai agregat kasar dengan proporsi Pasir sebagai agregat halus.
3. Limbah beton merupakan material hasil ujicoba Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang dan tersedia dalam jumlah yang banyak.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh daur ulang limbah beton sebagai agregat kasar dan Pasir sebagai agregat halus terhadap karakteristik *Cement Treated Base* (CTB) ?
2. Berapakah kadar air optimum untuk menghasilkan nilai kuat tekan *Cement Treated Base* (CTB) yang maksimal ?

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi dan Transportasi Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
2. Material limbah beton diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
3. Pasir diambil dari daerah Sengkaling, Kota Batu.
4. Limbah beton yang akan digunakan memiliki kekuatan rencana 20-25 Mpa.

5. Sampel *Cement Treated Base* (CTB) menggunakan cetakan silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm.
6. Semen yang digunakan adalah Pozzolan Portland Cement (PPC) produksi Semen Gresik.
7. Proporsi yang dipakai sebagai agregat kasar dan agregat halus adalah 50 : 50 sebagai skenario I dan proporsi agregat kasar dan halus adalah 60 : 40 sebagai skenario II.
8. Variasi kadar semen yang digunakan adalah 9% ; 10% ; 11% untuk skenario I
9. Variasi kadar semen yang digunakan adalah 3% ; 4% ; 5% untuk skenario II
10. Variasi kadar air yang digunakan adalah 6% ; 8% ; 10% ; 12% untuk mencari kadar air optimum pada skenario I.
11. Variasi kadar air yang digunakan adalah 4% ; 6% ; 8% pada skenario II
12. Metode pemadatan yang dipakai dipenelitian ini ialah metode *modified proctor*.
13. Jumlah benda uji untuk masing-masing variasi adalah 5 (lima) buah untuk skenario I dan 1 (satu) buah untuk skenario II.
14. Pada penelitian ini tidak membahas masalah ikatan kimia antara maupun reaksi kimia.
15. Standar pengujian kuat tekan benda uji menggunakan SNI 03-6429-2000.
16. Spesifikasi *Cement Treated Base* (CTB) menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Lapis pondasi (*base course*)

Fungsi lapis pondasi antara lain :

- a. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda,
- b. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik. Berbagai macam bahan alam / bahan setempat ($CBR \geq 50\%$, $PI \leq 4\%$) dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi, antara lain : batu pecah, kerikil pecah dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

2.2 Beton (*Concrete*)

Beton (*Concrete*) adalah bahan bangunan yang diperoleh dari hasil pencampuran antara semen, air, agregat halus, dan agregat kasar dengan perbandingan tertentu. Campuran semen dengan air disebut pasta semen berfungsi sebagai perekat, agregat halus berupa pasir atau abu batu sedangkan agregat kasar berupa kerikil atau batu pecah yang keduanya berfungsi sebagai pengisi. (Hendro,2010:148).

2.3 CTB (*Cement Treated Base*)

Cement Treated Base adalah base atau perkerasan yang mempergunakan PC sebagai filler. Karena semen PC bisa mengeras seperti batu maka kualitas atau kekuatan dari CTB adalah jauh lebih baik dari pada base biasa dengan filler debu atau tanah liat, sehingga CTB diberi nilai struktur lebih tinggi dari pada base dari bahan batu pecah biasa, namun demikian masih dibawah base dari lean concrete yang mempunyai kandungan semen PC sedikit lebih tinggi.

Selain gradasi agregat melalui proses alat grading dalam pelaksanaannya CTB mempunyai beberapa kelebihan antara lain :

- a. Lapisan konstruksi CTB tidak peka terhadap air, sifat ini sangat membantu untuk konstruksi dimana muka air tanahnya tinggi
- b. Nilai CBR yang dihasilkan > 100 % lebih tinggi dari agregat biasa, sehingga dapat mengurangi tebal rencana perkerasan.
- c. Dapat dilaksanakan meskipun didaerah dengan kondisi curah hujan tinggi,
- d. Masa pelaksanaan yang relatif sangat cepat sehingga terciptanya efisiensi waktu. CTB hanya membutuhkan masa curing 3 hari untuk dilalui kendaraan atau dilanjutkan pekerjaan konstruksi diatasnya setelah pemadatan.
- e. CTB tidak membutuhkan cetakan dan tulangan
- f. CTB tidak membutuhkan siar detalasi maupun *construction joint*
- g. CTB dapat mengakomodasi penurunan setempat.

2.4 Material campuran CTB

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, Persyaratan dari agregat lapis pondasi agregat dengan CTB dapat dilihat pada tabel berikut:

Sifat	Metode Pengujian	Persyaratan
Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles	SNI 2417 : 2008	Maks. 35%
Indeks Plastisitas	SNI 1966 : 2008	Maks. 6%
Batas Cair	SNI 1967 : 2009	Maks. 35%
Pengujian Gumpalan Lempung dan Butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, agregat yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan dan ketentuan saringan agregat sebagai berikut :

1. Agregat Kasar

Saringan ASTM (mm)	Lolos (%)
50	100
37.5	95 - 100
19	45 - 80

2. Agregat Halus

Saringan ASTM (mm)	Lolos (%)
4.75	25 - 50
2.35	8 - 30'
1.18	0 - 8
0.075	0 - 5

2.5 Pemadatan

Ada 2 (dua) cara usaha pemadatan di laboratorium yang diperkenalkan oleh Proctor, yaitu *Standard Proctor Test* dan *Modified Proctor Test*. Kedua tes pemadatan tersebut pada prinsipnya adalah sama kecuali tenaga, jumlah tumbukan, berat *hammer* dan tinggi jatuh yang diperlukan untuk pemadatan. Penentuan jumlah tumbukan dari benda uji bentuk silinder 15 x 30 cm dilakukan dengan pedoman energi pemadatan

dari *modified proctor* yang sudah umum digunakan dalam perencanaan jalan. Energi pemadatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus energi pemadatan berikut ini:

$$E = \frac{N \cdot W \cdot S}{V}$$

Dimana:

E = Energi (ft lb/cu ft)

N = Jumlah tumbukan.

V = Volume. (cu ft)

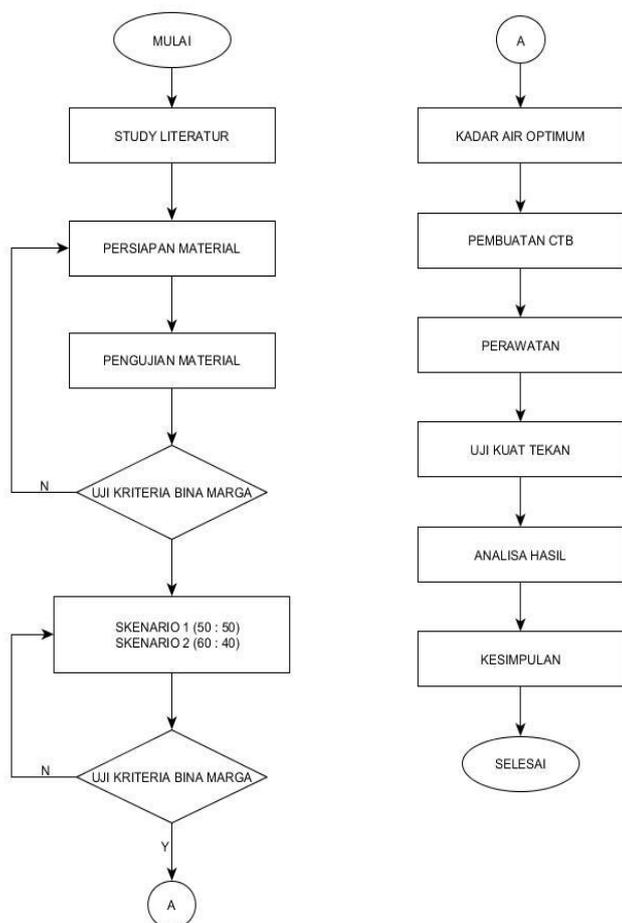
W = Berat hamer (lb).

S = Tinggi jatuh hamer (ft).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Sesuai dengan tujuan penelitian maka metode dasar yang dipakai adalah metode eksperimen. Untuk melihat lebih jelas, diagram alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

3.2 Penentuan Pemadatan

Dalam menentukan jumlah tumbukan yang diperlukan pada satu benda uji dengan cetakan bentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm energi pemadatan dengan *modified proctor* dilakukan dengan pedoman energy pemadatan sebesar 56000 ft lb/cu ft. Dengan memakai pedoman energi *modified proctor* tersebut, selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah tumbukan yang dibutuhkan untuk cetakan. Hasil perhitungan jumlah tumbukan cetakan silinder dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan Jumlah Tumbukan Cetakan Silinder

Jenis	Silinder 15 cm dan Tinggi 30 cm			
	V (cu ft)	W (lb)	S (ft)	Jumlah Tumbukan
Standart	0,1871	5,5	1	5 x 84
Modified	0,1871	10	1,5	5 x 140

3.3 Perencanaan Campuran

Campuran proporsi *Cement Treated Base* (CTB) dalam penelitian ini menggunakan proporsi agregat kasar dan agregat halus yang disesuaikan dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010. Tabel perencanaan campuran skenario I (Proporsi Agregat Kasar dan Agregat Halus 50 : 50) dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut :

Tabel 3.2 Tabel Perencanaan Campuran Skenario I

Saringan		Batas Lolos	Berat Tertahan	Berat Tertahan	Jumlah Tertahan	Jumlah Tertahan	Ket
Inch	mm	(%)	(%)	(gram)	(%)	(gram)	
2"	50	100	-	-	50%	600	A. Kasar
1,5"	37,5	95	5%	60			
3/4"	19	50	45%	540			
4	4,75	35	15%	180	50%	600	A. Halus
8	2,35	18	17%	204			
16	1,18	8	10%	120			
200	0,075	0	8%	96			
Jumlah			100%	1200	100%	1200	

Untuk lebih memanfaatkan limbah beton yang akan dipakai sebagai campuran *Cement Treated Base* (CTB) maka proporsi antara agregat kasar dan agregat halus ditentukan menjadi 60 :

40 sebagai skenario II dalam penelitian ini. Tabel perencanaan campuran skenario II (Proporsi Agregat Kasar dan Agregat Halus 60 : 40) dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut :

Tabel 3.3 Tabel Perencanaan Campuran Skenario II

Saringan		Batas Lolos	Berat Tertahan	Berat Tertahan	Jumlah Tertahan	Jumlah Tertahan	Ket
Inch	mm	(%)	(%)	(gram)	(%)	(gram)	
2"	50	100	-	-	60%	720	A. Kasar
1,5"	37,5	95	5%	60			
3/4"	19	40	55%	660			
4	4,75	25	15%	180	40%	480	A. Halus
8	2,35	8	17%	204			
16	1,18	0	8%	96			
200	0,075	0	0%	0			
Jumlah			100%	1200			

3.4 Proses Pembuatan Benda Uji

1. Menakar agregat sesuai dengan komposisi campuran yang telah direncanakan.
2. Menyiapkan cetakan silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
3. Agregat kasar yang didapat dari proses daur ulang limbah beton dibersihkan lalu dicampur dengan agregat halus berupa pasir.
4. Campuran agregat kasar dan agregat halus dicampur dengan variasi kadar semen terhadap berat kering agregat.
5. Setelah agregat kasar, agregat halus, dan semen dicampur hingga homogen lalu ditambahkan air berdasarkan variasi kadar air yang telah ditentukan.
6. Masukkan campuran *Cement Treated Base* (CTB) ke dalam cetakan silinder dengan metode *modified proctor* sebanyak 5 (lima) lapis.
7. Simpan benda uji di dalam cetakan silinder didalam ruang lembab selama 12 (dua belas) jam atau lebih lama.
8. Setelah waktu penyimpanan campuran di dalam silinder tercapai keluarkan dari dalam cetakan dan beri kode pada masing-masing benda uji.
9. Benda uji untuk pengujian kadar air optimum disimpan dan ditutupi karung goni basah selama 7 hari sebelum dilakukan pengujian guna menjaga kondisi benda uji tetap lembab.
10. Benda uji untuk pengujian kuat tekan bebas/*Unconfined Compressive Strength* disimpan dan ditutupi karung goni basah

selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian guna menjaga kondisi benda uji tetap lembab.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji Material

Material yang digunakan sebagai material CTB harus memenuhi persyaratan yang diisyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Material yang digunakan dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk mengetahui kelayakannya. Hasil uji material dapat dilihat pada tabel berikut:

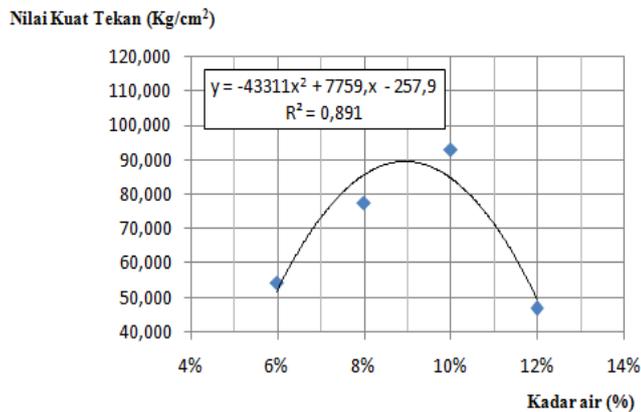
Bahan	Sumber/ Jenis	Standard	Syarat	Hasil
Semen	PPC Merk Semen Gresik Tipe-1	SNI 15-2049-1994	-	-
Air	PDAM	SNI 03-6817-2002	-	-
Agregat Kasar	Limbah Beton	SNI 03-2417-1991 (Abrasi Los Angeles)	Maks 35%	27,36%
		SNI 03-4141-1996 (Gumpalan Lempung)	Maks 1%	0,6%
Agregat Halus	Pasir Alam Lumajang	SNI 03-1966-1990 (Indeks Plastisitas)	Maks 6%	0%
		SNI 03-1967-1990 (Batas Cair)	Maks 25%	0%
		SNI 03-4141-1996 (Gumpalan Lempung)	Maks 1%	0,78%

Berdasarkan hasil uji material CTB diatas dapat dilihat bahwa seluruh material memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 sehingga dapat digunakan sebagai material CTB.

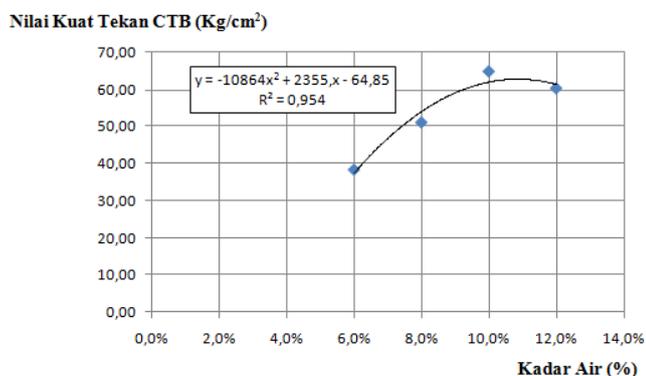
4.2. Skenario I (Proporsi Agregat Kasar dan Agregat Halus 50 : 50)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh daur ulang limbah beton sebagai material CTB ditinjau dari nilai kuat tekan CTB pada umur 7 (tujuh). Selanjutnya dilakukan penelitian dengan proporsi antara agregat kasar dan halus sebesar 50 : 50 menggunakan variasi kadar semen sebesar 9%, 10%, dan 11% dan variasi kadar air sebesar 6%, 8%, 10%, dan 12%. Total benda uji pada penelitian ini sebanyak 75 benda uji. Masing-masing variabel dibuat 5 buah benda uji.

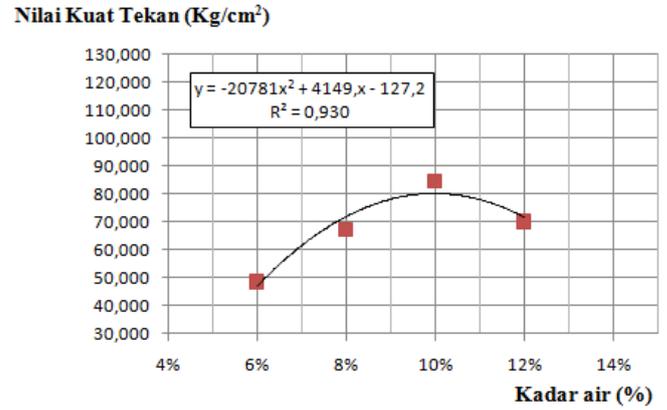
Grafik hubungan antara nilai kuat tekan dan kadar air diperoleh dari hasil nilai kuat tekan tiap kadar semen dan kadar air. Setelah itu persamaan dan regresi garis polynomial dibuat untuk digunakan mencari hubungan kuat tekan maksimum terhadap kadar air. Hasil Uji Tekan CTB dengan Kadar Semen 9%, 10%, dan 11% umur 7 hari dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4.



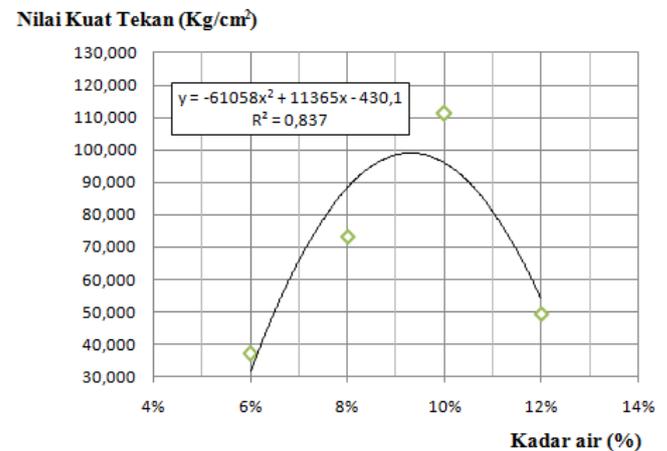
Gambar 4.1 Hasil Uji Tekan CTB dengan Kadar Semen 9% Umur 7 Hari



Gambar 4.2 Hasil Uji Tekan CTB dengan Kadar Semen 10% Umur 7 Hari (dengan data outlier)



Gambar 4.3 Hasil Uji Tekan CTB dengan Kadar Semen 10% Umur 7 Hari (setelah data outlier dihilangkan)



Gambar 4.4 Hasil Uji Tekan CTB dengan Kadar Semen 11% Umur 7 Hari

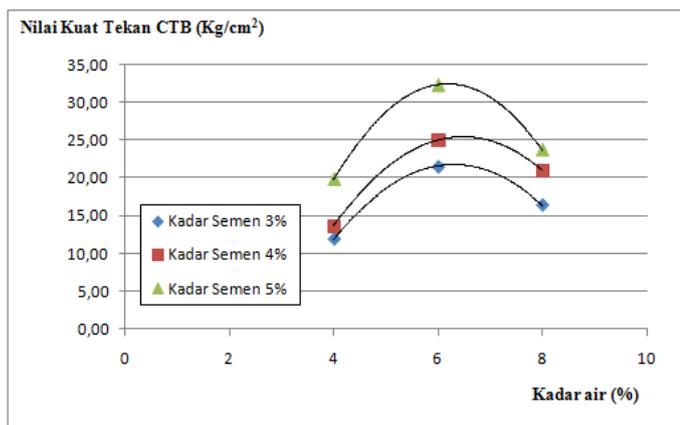
Dari Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan. Hal ini sangat jauh dari trend karakteristik penelitian ini. Penurunan kuat tekan yang terjadi sangat jauh dari kuat tekan dengan kadar semen 9% dan 11%. Seharusnya dengan penambahan kadar semen dalam keadaan kadar air optimum menghasilkan trend kuat tekan yang semakin meninggi

Solusi termudah untuk mengurangi anomali hasil analisa data yaitu dengan cara, data outlier dihilangkan atau tidak digunakan. Metode ini dapat dipakai dengan konsekuensi, harus menghilangkan data lain yang dianggap data outlier juga.

4.3. Skenario II (Proporsi Agregat Kasar dan Agregat Halus 60 : 40)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan proporsi daur ulang limbah beton sebagai agregat kasar material CTB terhadap nilai kuat tekan CTB pada umur 7 (tujuh) hari. Dengan demikian diharapkan daur ulang

limbah beton dapat dimanfaatkan sebanyak-banyaknya sebagai agregat kasar. Dalam penerapannya, proporsi agregat 60 : 40 lalu dicampur dengan kadar semen 3%, 4%, dan 5% dan kadar air 4%, 6%, dan 8%. Setiap kadar air dibuatkan benda uji sebanyak 1 (satu) buah. Hal ini dikarenakan nilai kuat tekan yang dihasilkan tidak memuaskan. Total benda uji yang dibuat adalah 9 (sembilan) benda uji. Hasil uji tekan CTB dengan kadar semen 3%, 4%, dan 5% umur 7 hari dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil Uji Tekan CTB dengan Kadar Semen 11% Umur 7 Hari

Setelah diuji kuat tekan pada umur 7 (tujuh) hari, hasil dari proporsi ini kurang memuaskan. Hasil tersebut sangat jauh dari spesifikasi yaitu sebesar 78 kg/cm² tetapi terdapat trend kenaikan nilai kuat tekan setiap penambahan semen. Berdasarkan hasil ini maka peneliti tetap menggunakan proporsi 60 : 40 dengan dilakukan penambahan kadar semen lebih banyak dan kadar air yang sudah ditentukan agar didapat hasil yang memuaskan.

Mempertimbangkan hasil uji sebelumnya, maka semen dicoba-coba untuk ditambah kadar semennya sebesar 7%, 8%, 9%, 10%, dan 11%. Setiap kadar semen dibuatkan 1 (satu) benda uji. Dalam pengujian ini setiap benda uji dicampur pada tiap kadar semen dengan kadar air sebesar 10%. Hasil penelitian uji kuat tekan CTB dengan penambahan semen umur 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Penelitian Uji Kuat Tekan CTB Dengan Penambahan Semen Umur 7 Hari

Kadar air (%)	Kadar Semen (%)	Berat (Gram)	Beban (Kg)	Nilai Kuat Tekan CTB (Kg/cm ²)
10	7	1032	5400	30,57
	8	1180	7200	40,76
	9	1198	7800	44,16
	10	1178	12000	67,94
	11	1162	9000	50,95

Setelah melakukan pembuatan benda uji proporsi agregat 60 : 40 dengan kadar semen 7%, 8%, 9%, 10%, dan 11% didapat hasil yang masih kurang memuaskan. Berdasarkan hasil pengujian ini maka diputuskan jika proporsi ini tidak dapat dipakai. Disamping itu proporsi ini juga melewati batas atas Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

Meninjau hasil penelitian dari skenario I dan skenario II maka ditetapkan bahwa skenario II (proporsi agregat kasar dan agregat halus 60 : 40) tidak dapat digunakan sebagai proporsi CTB.

4.4 Perhitungan kadar air optimum

Selanjutnya dilakukan pembahasan lebih dalam dari hasil skenario I (proporsi agregat kasar dan agregat halus 50 : 50) untuk mengetahui kadar air optimum. Kadar air optimum tersebut diterapkan pada pembuatan benda uji CTB pada umur 28 (dua puluh delapan) hari. Dari hasil tersebut maka diketahui apakah nilai kuat tekan CTB umur 28 (dua puluh delapan) hari dapat memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

Perhitungan kadar air optimum dapat dicari melalui persamaan regresi garis polynomial dari grafik perbandingan kadar air dengan nilai kuat tekan CTB berumur 7 (tujuh) hari yang telah diturunkan ($\frac{dx}{dy} = 0$). Setelah diturunkan, maka akan didapat kadar air optimum dan kuat tekan maksimum CTB pada tiap-tiap kadar semen. Hasil penelitian kadar air optimum CTB umur 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut :

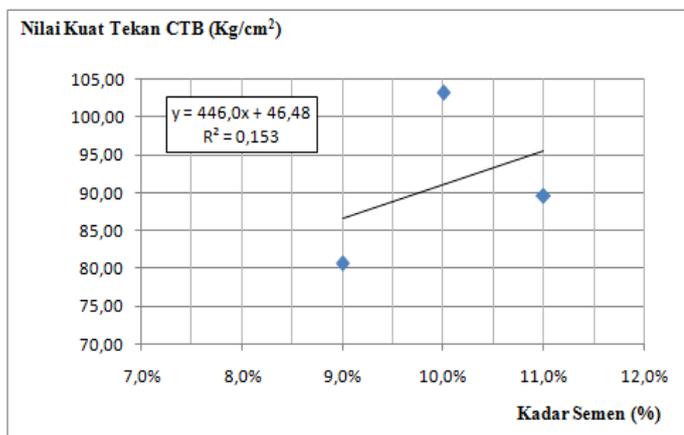
Tabel 4.2 Hasil Penelitian Kadar Air Optimum CTB Umur 7 Hari

Kadar Semen (%)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Kadar Air Optimum (%)
9	89,59	8,96
10	79,89	9,98
11	98,75	9,31

Melihat Tabel 4.2 diatas, terdapat kurang solidnya hasil dari kadar semen 10% jika dibandingkan dengan kadar semen lain. Berdasarkan teori, semakin banyaknya kadar semen yang dicampurkan kedalam benda uji semakin tinggi kekuatannya dan juga semakin tinggi kebutuhan air untuk mengikat agregat. Hasil dari kadar semen 10% berbeda dengan kadar semen 9% dan 11%. Perbedan dapat dilihat dari bentuk garis polynomial dari ketiga kadar semen tersebut. Hal ini bisa terjadi dikarenakan munculnya data *outlier*.

4.5 Hasil Penelitian CTB Umur 28 Hari dengan Kadar Air Optimum

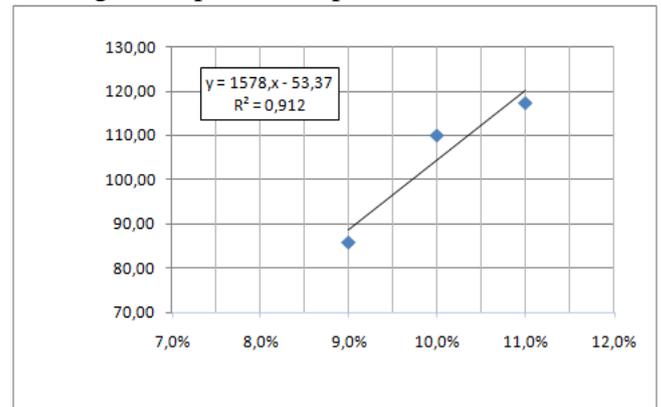
Peneliti menggunakan regresi dua dimensi untuk membandingkan antara hasil perhitungan nilai kuat tekan dengan kadar semen. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh antara nilai kuat tekan dengan kadar semen sehingga didapatkan kuat tekan maksimum terhadap kadar semennya . Hasil uji tekan CTB umur 28 hari dengan kadar air optimum dapat dilihat pada Tabel 4.6.



Gambar 4.6 Hasil Uji Tekan CTB Umur 28 Hari dengan Kadar Air Optimum

Dari Gambar 4.6, dapat dilihat bahwa terdapat garis linear yang memiliki persamaan titik puncak $y = 446.x + 46,48$ dan memiliki korelasi sebesar 0,153. Korelasi hubungan dari variasi kuat tekan CTB 28 hari sangatlah kecil dikarenakan terlalu besarnya variasi kuat tekan antar benda uji. Hal ini terlihat pada variasi kadar semen 11% yang menghasilkan standard deviasi sebesar 23,65 kg/cm².

Selanjutnya dilakukan analisa regresi dua dimensi lagi dengan menghilangkan data *outlier* terlebih dahulu. Hasil uji tekan CTB umur 28 hari dengan kadar air optimum setelah data outlier dihilangkan dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Hasil Uji Tekan CTB Umur 28 Hari dengan Kadar Air Optimum (setelah data outlier dihilangkan)

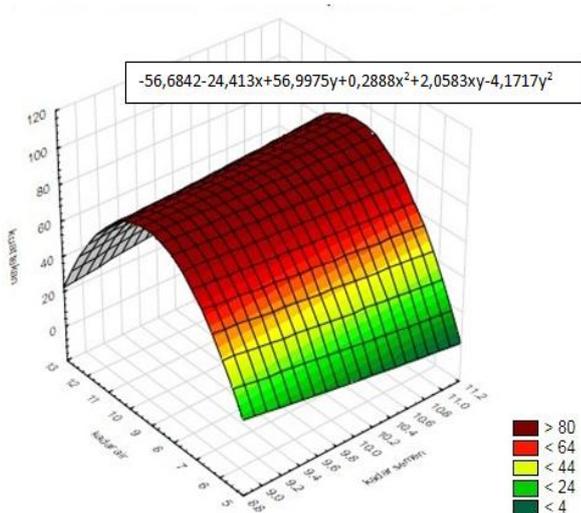
Dari Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa terdapat garis linear yang semakin ke atas setiap penambahan kadar semen. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar semen semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan pada keadaan kadar air optimumnya, sedangkan semakin sedikit kadar semen nilai kuat tekan juga semakin menurun. Regresi dua dimensi CTB 28 hari yang dihubungkan dengan garis linear menghasilkan persamaan $y = 1578x + 53,37$ memiliki korelasi yang mendekati 1, yaitu sebesar 0,912. Setelah melakukan perhitungan persamaan didapat kuat tekan maksimum sebesar 120,21 kg/cm² pada kuat semen 11%. Hasil penelitian kuat tekan maksimum dari kadar semen 9%, 10%, dan 11% dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Hasil Penelitian Kuat Tekan Maksimum CTB Umur 28 Hari

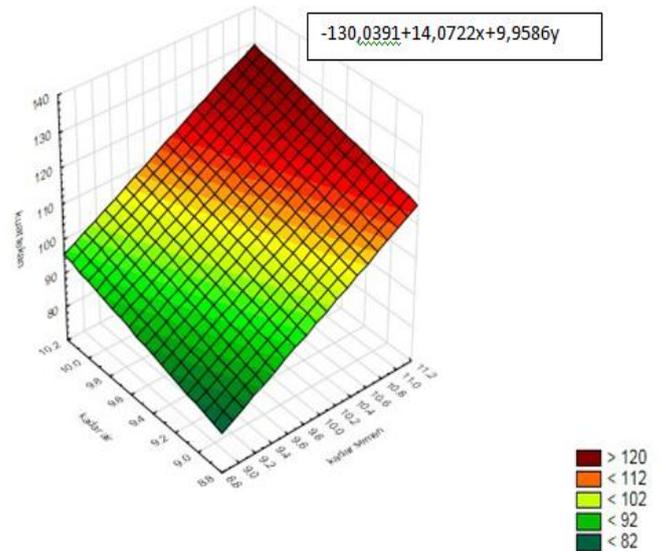
Kadar Semen (%)	Kadar Air Optimum (%)	Kuat Tekan CTB (Kg/cm ²)
9	8,96	88,65
10	9,98	104,43
11	9,31	120,21

4.6 Analisa Hubungan Antar Variabel

Regresi tiga dimensi ini akan membandingkan antara nilai kuat tekan, kadar air, dan kadar semen pada proporsi CTB berumur 7 (tujuh) hari. Pemanfaatan regresi 3D ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar air dan kadar semen terhadap kuat tekan CTB. Pada grafik 3D ini terdapat tiga sumbu yaitu X, Y, dan Z. Sumbu X menunjukkan kadar semen, sumbu Y menunjukkan kadar air, dan sumbu Z menunjukkan nilai kuat tekan. Data-data regresi diperoleh dari Tabel nilai kuat tekan pada proporsi CTB yang berumur 7 hari dan 28 hari. Hubungan kuat tekan dengan kadar air dan kadar semen CTB umur 7 hari dan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.8 Hubungan Kuat Tekan dengan Kadar Air dan Kadar Semen CTB Umur 7 Hari



Gambar 4.11 Hubungan Kuat Tekan dengan Kadar Air Optimum dan Kadar Semen CTB Umur 28 Hari

Berdasarkan grafik 3D proporsi CTB yang berumur 7 hari dan 28 hari dapat dilihat bahwa kadar semen 11% memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi dibanding kadar semen 9% dan 10%. Kenaikan kadar semen berbanding lurus dengan nilai kuat tekannya sehingga semakin banyak jumlah semen, semakin besar pula nilai kuat tekan CTB jika berada pada keadaan kadar air optimumnya.

4.7 Pembahasan CTB

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 mensyaratkan nilai kuat tekan CTB pada umur 7 hari adalah 78 kg/cm² dan pada umur 28 hari sebesar 128 Kg/cm². Perbandingan nilai kuat tekan CTB umur 7 hari dan umur 28 hari dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Kuat Tekan CTB Umur 7 Hari dan Umur 28 Hari dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010

Kadar Semen (%)	Kadar Air Optimum (%)	Kuat Tekan CTB Umur 7 Hari (Kg/cm ²)	Kuat Tekan CTB Umur 28 Hari (Kg/cm ²)
9	8,96	89,59	88,65
10	9,98	79,89	104,43
11	9,31	98,75	120,21

Dari Tabel 4.4 diatas, dapat dilihat bahwa benda uji CTB berumur 7 hari dengan kadar air optimum yang ditambah dengan semen 9%, 10%, dan 11% memenuhi syarat sebagai material CTB berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 tetapi benda uji CTB berumur 28 hari tidak memenuhi syarat.

Pada penelitian ini material yang digunakan sama dengan material penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Nugraha dan Bangun (2014). Berdasarkan penelitian tersebut, limbah beton daur ulang yang digunakan sebagai agregat kasar memiliki nilai penyerapan sebesar 4,8% dari persyaratan sebesar 3%. Semakin besar nilai penyerapan agregat limbah beton daur ulang maka limbah tersebut akan semakin banyak menyerap air. Air yang digunakan sebagai campuran CTB, banyak diserap agregat kasar dan menyebabkan semen tidak dapat mengikat agregat dengan baik. Hal itu menjadikan nilai kuat tekan CTB pada umur 28 hari menjadi tidak memenuhi persyaratan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis data yang telah dilakukan, pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh daur ulang limbah beton sebagai agregat kasar dengan pasir sebagai agregat

halus terhadap karakteristik CTB adalah sebagai berikut :

- a) Daur ulang limbah beton memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 sebagai material CTB umur 7 hari jika menggunakan proporsi agregat kasar dan agregat halus 50 : 50. Namun proporsi ini tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 sebagai material CTB umur 28 hari.
 - b) Nilai kuat tekan CTB daur ulang limbah beton umur 7 (tujuh) hari dengan kadar semen 9%, 10%, dan 11% yaitu sebesar 89,59 kg/cm², 79,89 kg/cm², dan 98,75 kg/cm². CTB daur ulang limbah beton umur 7 hari tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 yaitu minimal 78 kg/cm².
 - c) Nilai kuat tekan CTB daur ulang limbah beton umur 28 (dua puluh delapan) hari dengan kadar semen 9%, 10%, dan 11% yaitu sebesar 88,65 kg/cm², 104,43 kg/cm², dan 120,21 kg/cm². CTB daur ulang limbah beton umur 28 hari tersebut tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 yaitu minimal 128 kg/cm².
2. Kadar air optimum CTB daur ulang limbah beton yang didapat dari benda uji CTB umur 7 (tujuh) hari untuk kadar semen 9%, 10%, dan 11% yaitu sebesar 8,96%, 9,98%, dan 9,31%.
 3. Daur ulang limbah beton dengan kadar semen 9%, 10%, dan 11% tidak dapat digunakan sebagai material CTB berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

5.2 Saran

Pada penelitian ini, terdapat beberapa hal yang menyebabkan kurang maksimalnya hasil penelitian. Saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Material CTB sebaiknya menggunakan limbah beton yang direncanakan memiliki kuat tekan diatas 25 Mpa agar agregat memiliki nilai abrasi *Los Angeles* yang lebih kecil.
2. Penggunaan kadar semen sebaiknya diatas 11% agar dapat memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.
3. Penggunaan material CTB dicoba menggunakan proporsi agregat kasar : agregat halus dengan perbandingan selain 50 : 50 dan

- 60 : 40 agar limbah beton dapat dimanfaatkan sebagai material CTB. Dengan mencoba proporsi lainnya diharapkan CTB menjadi lebih padat dan tidak adanya ruang kosong antar agregat.
4. Pelaksanaan pemadatan harus sesuai prosedur dan sebaiknya memakai alat *counter* agar meminimalisir kesalahan jumlah tumbukan.
 5. Pemanfaatan limbah beton sebaiknya dianalisa gradasi terlebih dahulu berdasarkan limbah beton yang tersedia, sehingga dapat diterapkan dilapangan.
 6. Proses curing sebaiknya menggunakan metode perendaman agar perawatan terhadap proses panas hidrasi lebih merata dan menghindari penambahan air yang tidak disengaja pada CTB

DAFTAR PUSTAKA

- Abdo,F. Y., 2009. Cement-Stabilized Base Courses. In *Concrete Airport Pavement Workshop*. Portland Cement Association, Washington,D.C. pp. 1-62
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2007. *AASHTO guide for Design of Pavement Structures*, Washington,D.C : AASHTO.
- Basuki, R., Chomaedi, & M.A.Wildan., 2012. Perencanaan Komposisi Daur Ulang Campuran Dingin pada Perkerasan Lama Sebagai Alternatif Peningkatan Struktur Lapisan Pondasi Atas (Studi Kasus Jalan Pantai Utara). In *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW)*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. pp. C99-C112
- Bina Marga, 2010. *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan* (Buku V), Jakarta.
- Das, B.M., 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Departemen PU, 1987. *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen*, SKBI-2.3.26.1987.
- Heriantowi. (1987). Pengenalan Tentang Uji Kompaksi Dilaboratorium. From <http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/577/jbptitb>
- pp-gdl-heriantowi-28838-3-1987ts-2.pdf, 24 Oktober 2014
- ITS. Regresi. From http://lecturer.eepisits.edu/~prima/metode_numerik/bahan_ajar/1Regresi.pdf, 24 Oktober 2014
- Kementrian PU., (2012). Beton Daur Ulang untuk Preservasi Jalan (Inovasi Konstruksi Ramah Lingkungan) . From <http://pustaka.pu.go.id/new/artikel-detail.asp?id=307> , 3 Juni 2014
- Kurniawan, V., 2014. *Pengaruh Serbuk Gypsum Terhadap Karakteristik Lempung Ekspansif di Bojonegoro*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi
- Muda, A. H., 2009. *Tinjauan Kuat Tekan Bebas dan Drying Shrinkage Cement Treated Recycling BASE (CTRB) pada Rehabilitasi Jalan Boyolali – Kartosuro*. Surakarta : Universitas Negeri Sebelas Maret. Tesis. (Tidak dipublikasikan)
- Mulyono, T., 2003. *Teknologi Beton*. Jakarta : Penerbit Andi.
- Nuraini, A., (2013). Cara Kerja Mesin Pemecah Batu/Stone Crusher (Foto dan Video). From <http://seribumotor.blogspot.com/2013/09/cara-kerja-mesin-pemecah-batustone.html> , 3 Juni 2014
- Ogenta, N P, & Prawiro, B., 2014. *Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus dengan Tambahan Gilsonite*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi
- Patmadjaja, H. & Richard T., 2001. *Karakteristik Penelitian Pendahuluan Penggunaan Benda Uji Kubus Beton Pada Perkerasan Lentur Type Cement Treated Base (CTB)*. Surabaya : Universitas Kristen Petra. Jurnal. Dimensi Teknik Sipil, Vol 3, No. 1. pp. 24-29
- Poerwadi, M R., 2014. *Pengaruh Penggunaan Mineral Local Zeolit Alam Terhadap Karakteristik Self-Compacting Concrete*

(SCC) . Malang : Universitas Brawijaya.
Skripsi

University, Department of Civil
Engineering. Perth. pp. 379-385.

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, 2007. *Spesifikasi Khusus tentang Cement Treated Recycling Base dan Subbase (CTRB & CTRSB) Dicampur DI Tempat (Mix IN Place)*, Bandung: Pusjatan

Yoshi. (2013). Outlier dalam Statistik. From <http://indomoto.com/2013/02/28/outlier-dalam-statistik/>, 24 Oktober 2014

Standar Nasional Indonesia (SNI), 1989. *Metode Pengujian Kepadatan Ringan untuk Tanah*, SNI 03-1742-1989.

Standar Nasional Indonesia (SNI), 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Contoh Uji Beton Berbentuk Silinder* , SNI 03-1974-1990.

Standar Nasional Indonesia (SNI), 1993. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, SNI 03-2834-1993

Standar Nasional Indonesia (SNI), 1996. *Metode Pengujian Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat*, SNI 03-4141-1996.

Standar Nasional Indonesia (SNI), 2000. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder dengan Cetakan Silinder di dalam Tempat Cetakan* , SNI 03-6429-2000.

Standar Nasional Indonesia (SNI), 2008. *Cara Uji dan Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*, SNI 03-1966-2008.

Standar Nasional Indonesia (SNI), 2008. *Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abarasi Los Angeles*, SNI 03-2417-2008.

Standar Nasional Indonesia (SNI), 2008. *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*, SNI 03-1967-2008.

Sukirman, S., 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Yayasan Obor Indonesia.

Suseno, H., 2010. *Bahan Bangunan*. Malang : Bargie Media.

Usman, M., Warsono, & Rudi, R., 2009. *Statistika Pengantar Teknik Analisis Data*. Bandung : Sinar Baru Algensindo.

Yeo, Y.S., Jitsangiam, Peerapong., & Nikraz, H., 2011. Mix Design of Cementitious Basecourse. In *International Conference on Advances in Geotechnical Engineering (ICAGE)*, November 2011, Curtin