

PENGARUH PENAMBAHAN AIR DIATAS KADAR AIR OPTIMUM TERHADAP NILAI CBR DENGAN DAN TANPA RENDAMAN PADA TANAH LEMPUNG YANG DICAMPUR ABU TERBANG

Puspa Ningrum¹⁾, Soewignjo Agus Nugroho²⁾, Muhardi²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, ²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293

E-mail: puspaningrum09@gmail.com

ABSTRACT

Clays are soft soil which have a low bearing capacity. One of the methods to determine the soil bearing capacity is CBR (California Bearing Ratio). Research on Laboratory for determining CBR value of soil generally performed on condition of optimum moisture content or fully saturated soil. This research evaluates the CBR value of clays with various fly ash contents from OMC to fully saturated. The results showed that, when the soil is compacted at OMC conditions, the effect of saturation resulted will decrease the CBR value up to 67% of CBR unsoaked. When soil is compacted with moisture content above the OMC, increase of water content resulted will decrease the CBR value up to 24%. Furthermore, the addition of fly ash content is effective to improve the CBR value between 20% -25%.

Key Words: CBR, water content, clay, fly ash

PENDAHULUAN

Suatu konstruksi baik jalan, gedung, maupun konstruksi lainnya akan dapat bertahan lama jika didukung oleh tanah dasar yang baik (Hartosukma, 2005). Dalam pembangunan perkerasan jalan, sering ditemui tanah dasar atau material di sekitar lokasi proyek tidak memenuhi syarat bila digunakan untuk pembangunan perkerasan. Salah satu contoh yaitu kondisi tanah dengan daya dukung rendah yang sering ditemui pada jenis tanah lunak. Tanah lempung merupakan tanah lunak yang pada umumnya memiliki kekuatan daya dukung yang rendah.

Sejauh ini telah banyak dilakukan penelitian mengenai CBR, salah satunya studi secara eksperimental di laboratorium mengenai CBR telah dilakukan dengan menggunakan kadar abu terbang yang bervariasi pada tanah lempung, dimana persentase paling efektif yaitu dengan kadar abu terbang 15% dan masa pemeraman selama 7-14 hari. Dengan persentase efektif tersebut dapat

meningkatkan daya dukung tanah atau nilai CBR dari tanah yang bersangkutan dan menurunkan plastisitasnya. Apabila persentase kadar abu terbang kurang dari itu, maka nilai CBR nya akan menurun (Sulistiyowati, 2006).

Berdasarkan penelitian yang ada sebelumnya, penelitian mengenai perubahan nilai CBR dengan variasi kadar air yang berada pada rentang nilai OMC sampai pada keadaan jenuh masih jarang dilakukan. Maka pada penelitian ini akan dicari perilaku perubahan nilai CBR dengan dan tanpa rendaman akibat pengaruh penambahan kadar air di atas kadar air optimum (OMC) terhadap variasi kadar tanah lempung yang dicampur abu terbang (*fly ash*).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh abu terbang terhadap perubahan kadar air optimum (OMC).

2. Mengetahui nilai CBR kondisi terendam (*soaked*) dan tidak terendam (*unsoaked*) pada tanah lempung yang dicampur abu terbang.
3. Mengetahui pengaruh air pada rentang kadar air diatas OMC sampai keadaan jenuh terhadap nilai CBR tanah campuran.

Tanah Lempung

Tanah lempung (*clays*) merupakan tanah yang sebagian besar butirannya terdiri dari ukuran mikrokopis sampai dengan sub mikrokopis, bersifat sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (*kohesif*) dan sangat lunak (Das, 1985). Selain itu sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, dan proses konsolidasi lambat.

Abu Terbang

Abu terbang (*fly ash*) merupakan bagian terbesar dari sisa pembakaran batu bara yang memiliki ukuran butiran yang halus dan menampakkan warna keabu-abuan. Pemanfaatan abu terbang ini digunakan untuk stabilisasi tanah karena mempunyai sifat *pozzolan*, dapat mengurangi penyusutan (*shrinkage*) dan keretakan (*cracking problem*) yang biasa timbul pada penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah (Hartosukma, 2005). Karakteristik abu terbang penting diketahui guna untuk memahami reaksi bahan ini terhadap tanah atau material yang berada di lapangan.

California Bearing Ratio (CBR)

CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1"/0,2" dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1"/0,2". Harga CBR dinyatakan dalam persen. Jadi, CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan

standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. Adapun jenis CBR berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya meliputi CBR lapangan, CBR lapangan rendaman, dan CBR laboratorium.

METODOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau. Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan yang meliputi tahap persiapan, pengambilan sampel, pelaksanaan pengujian, dan analisa hasil dari pengujian yang telah dilakukan.

Pengujian yang dilakukan untuk memperoleh data-data mengenai sifat fisis benda uji meliputi berat jenis dan batas-batas konsistensi tanah, selain itu juga untuk memperoleh data pemadatan dan CBR. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan standar ASTM.

Bahan yang digunakan merupakan benda uji terganggu (*disturbed sample*) yaitu campuran antara tanah lempung dan abu terbang dengan persentase masing-masing campuran adalah sebagai berikut, 100% tanah lempung asli, 90% lempung + 10% abu terbang, 85% lempung + 15% abu terbang, 80% lempung + 20% abu terbang, 75% lempung + 25% abu terbang, dan 70% lempung + 30% abu terbang.

Untuk tanah lempung diambil dari Jalan Inpres, KM 11, Perawang, Kabupaten Siak. Sedangkan untuk pengambilan abu terbang dari PT. Indah Kiat Pulp and Paper Tbk, Perawang, Kabupaten Siak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Batas-batas Konsistensi (*Atterberg Limits*)

Hasil pengujian batas-batas konsistensi untuk masing-masing variasi tanah campuran ditampilkan pada Tabel 1.

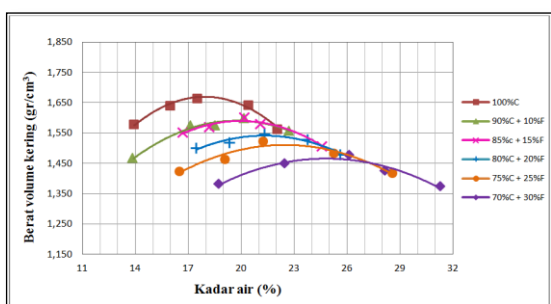
Tabel 1 Hasil Pengujian Batas-Batas Konsistensi Tanah Uji

No.	Deskripsi Tanah	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)
1	Tanah Lempung Asli	31,74%	20,59%	11,15%
2	90% Lempung + 10% Abu Terbang	29,46%	22,66%	6,80%
3	85% Lempung + 15% Abu Terbang	29,22%	22,97%	6,25%
4	80% Lempung + 20% Abu Terbang	29,17%	24,10%	5,07%
5	75% Lempung + 25% Abu Terbang	29,08%	24,60%	4,48%
6	70% Lempung + 30% Abu Terbang	29,03%	26,01%	3,02%

Dari Tabel 1 dapat disimpulkan, semakin tinggi persentase abu terbang maka cenderung meningkatkan nilai batas plastis, sehingga menyebabkan nilai indeks plastisitas menurun. Selain itu, semakin meningkat persentase abu terbang dalam campuran tanah, maka menurunkan nilai batas cairnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase abu terbang yang dicampur dengan tanah lempung, maka tanah campuran tersebut cenderung semakin baik karena berkurangnya sifat plastisitas tanah.

Hasil Pengujian Pemadatan (*Proctor Test*)

Hasil pengujian setiap variasi campuran tanah uji dapat dilihat pada Gambar 1 yang digambarkan dengan grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya.



Gambar 1 Hasil Pengujian Pemadatan Standar

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan standar pada Gambar 1 diatas, maka dapat ditentukan nilai kadar air optimum (*OMC*) dan berat volume kering maksimum ($\gamma_{dry maks}$) dengan hasil yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Pemadatan Tanah Uji

No.	Deskripsi Tanah	$\gamma_{dry maks}$ (gr/cm ³)	OMC (%)
1	Tanah Lempung Asli	1,671	17,982
2	90% Lempung + 10% Abu terbang	1,592	19,857
3	85% Lempung + 15% Abu terbang	1,588	20,050
4	80% Lempung + 20% Abu terbang	1,541	21,357
5	75% Lempung + 25% Abu terbang	1,509	22,512
6	70% Lempung + 30% Abu terbang	1,465	24,894

Pada Tabel 2 terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya persentase abu terbang dalam tanah campuran, maka nilai berat volume kering akan semakin menurun dan nilai kadar air optimum akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya penyerapan air dan meningkatnya angka pori akibat peningkatan persentase abu terbang, sehingga persentase butiran padat yang mengisi volume tanah menjadi berkurang.

Hasil Pengujian CBR

Berdasarkan nilai *OMC* yang diperoleh dari pengujian pemadatan tanah, maka nilai tersebut digunakan sebagai kadar air untuk pemadatan pada pengujian CBR, pada penelitian ini dilakukan pengujian CBR pada kondisi tanpa rendaman (*unsoaked*) dan kondisi tanpa rendaman dengan kadar air diatas *OMC*.

1. Hasil Pengujian CBR tanpa Rendaman (*Unsoaked*)

Pemadatan pada pengujian CBR ini dilakukan pada kondisi *OMC*. Pengujian nilai CBR dilakukan terhadap tanah bagian atas dan tanah bagian bawah, sehingga diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian CBR tanpa Rendaman

No.	Deskripsi Tanah	Kadar Air (%)	γ_{dry} (gr/cm ³)	Nilai CBR (%)	
				Bagian Atas	Bagian Bawah
1	Tanah Lempung Asli	17,273	1,670	22,060	22,550
2	90% Lempung + 10% Abu terbang	19,169	1,590	22,547	22,921
3	85% Lempung + 15% Abu terbang	20,104	1,589	23,970	24,343
4	80% Lempung + 20% Abu terbang	20,881	1,503	24,190	24,510
5	75% Lempung + 25% Abu terbang	21,896	1,487	25,990	26,442
6	70% Lempung + 30% Abu terbang	24,194	1,456	25,430	26,142

2. Hasil Pengujian CBR *Unsoaked* dengan Kadar Air diatas OMC

Untuk pengujian ini, kadar air yang digunakan berada pada rentang antara OMC hingga mencapai kadar air kondisi jenuh, variasi kadar air yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Variasi Kadar Air

Deskripsi Tanah	OMC (%)	Kadar air mendekati jenuh (%)	Selisih kadar air (%)	Kadar Air di Atas OMC (%)			
				20% [X]			
	[A]	[B]	[X] = B-A				
Tanah Lempung Asli	17,982	22,858	4,876	18,957	19,932	20,908	21,883
90% Lempung + 10% Abu terbang	19,857	21,000	1,143	20,086	20,314	20,543	20,771
85% Lempung + 15% Abu terbang	20,050	23,835	3,785	20,807	21,564	22,321	23,078
80% Lempung + 20% Abu terbang	21,357	26,342	4,985	22,354	23,351	24,348	25,345
75% Lempung + 25% Abu terbang	22,512	29,000	6,488	23,810	25,107	26,405	27,702
70% Lempung + 30% Abu terbang	24,894	28,245	3,351	25,564	26,234	26,905	27,575

Pada uji CBR ini sampel diberi umur pemeraman selama 28 hari. Setelah masing-masing variasi kadar air diperoleh, maka dilakukan pemeraman 28 hari sebelum dilakukan pengujian CBR tanpa rendaman pada setiap variasi campuran tanah lempung dengan abu terbang. Pengujian CBR ini juga dilakukan pada bagian atas dan bawah tanah uji, sehingga diperoleh hasil seperti yang terdapat pada Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10.

Hasil yang diperoleh pada pengujian ini akan digunakan untuk menganalisa pengaruh kadar air pada saat pemadatan terhadap nilai CBR tanah.

Tabel 5 Hasil Pengujian CBR Tanah Uji Lempung Asli

Benda Uji	Nilai CBR Bagian Atas (%)			Nilai CBR Bagian Bawah (%)		
	Mould 1	Mould 2	Rata-rata	Mould 1	Mould 2	Rata-rata
OMC	21,124	22,996	22,060	21,578	23,521	22,550
OMC + 20%X	7,792	12,837	10,315	8,691	13,736	11,214
OMC + 40%X	6,044	6,394	6,219	7,592	6,693	7,143
OMC + 60%X	2,547	3,347	2,947	4,346	4,396	4,371
OMC + 80%X	2,198	1,798	1,998	2,747	3,197	2,972

Tabel 6 Hasil Pengujian CBR Tanah Uji 90% Lempung + 10% Abu Terbang

Benda Uji	Nilai CBR Bagian Atas (%)			Nilai CBR Bagian Bawah (%)		
	Mould 1	Mould 2	Rata-rata	Mould 1	Mould 2	Rata-rata
OMC	22,247	22,846	22,547	22,772	23,071	22,921
OMC + 20%X	20,380	20,979	20,679	20,829	21,179	21,004
OMC + 40%X	26,592	21,778	24,185	26,816	22,727	24,772
OMC + 60%X	14,785	14,885	14,835	15,584	15,834	15,709
OMC + 80%X	6,244	6,344	6,294	8,841	9,041	8,941

Tabel 7 Hasil Pengujian CBR Tanah Uji 85% Lempung + 15% Abu Terbang

Benda Uji	Nilai CBR Bagian Atas (%)			Nilai CBR Bagian Bawah (%)		
	Mould 1	Mould 2	Rata-rata	Mould 1	Mould 2	Rata-rata
OMC	25,843	22,562	24,202	26,124	22,562	24,343
OMC + 20%X	27,041	28,539	27,790	29,813	31,718	30,766
OMC + 40%X	17,782	14,436	16,109	17,982	14,685	16,334
OMC + 60%X	12,937	7,542	10,240	13,037	11,788	12,413
OMC + 80%X	4,096	3,646	3,871	5,345	4,695	5,020

Tabel 8 Hasil Pengujian CBR Tanah Uji 80% Lempung + 20% Abu Terbang

Benda Uji	Nilai CBR Bagian Atas (%)			Nilai CBR Bagian Bawah (%)		
	Mould 1	Mould 2	Rata-rata	Mould 1	Mould 2	Rata-rata
OMC	24,045	24,345	24,195	24,195	24,825	24,510
OMC + 20%X	26,517	27,865	27,191	28,022	28,914	28,468
OMC + 40%X	16,084	19,081	17,582	19,580	21,878	20,729
OMC + 60%X	8,092	11,538	9,815	9,890	11,938	10,914
OMC + 80%X	2,647	2,947	2,797	4,096	3,746	3,921

Tabel 9 Hasil Pengujian CBR Tanah Uji 75% Lempung + 25% Abu Terbang

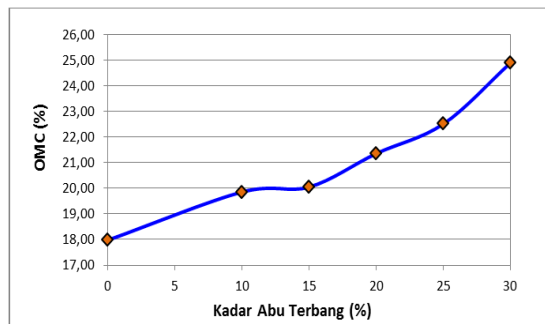
Benda Uji	Nilai CBR Bagian Atas (%)			Nilai CBR Bagian Bawah (%)		
	Mould 1	Mould 2	Rata-rata	Mould 1	Mould 2	Rata-rata
OMC	26,592	25,393	25,993	26,816	26,067	26,442
OMC + 20%X	24,195	23,776	23,985	25,924	24,195	25,059
OMC + 40%X	11,738	12,438	12,088	13,636	13,237	13,437
OMC + 60%X	9,740	8,541	9,141	11,189	10,839	11,014
OMC + 80%X	3,097	2,048	2,572	3,297	3,047	3,172

Tabel 10 Hasil Pengujian CBR Tanah Uji 70% Lempung + 30% Abu Terbang

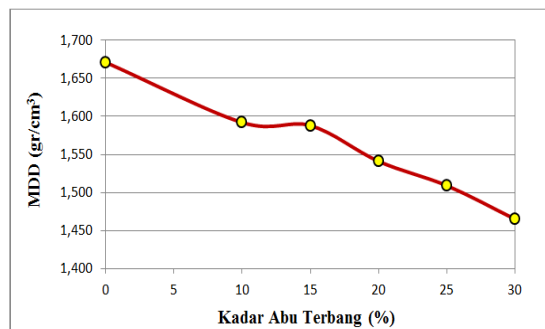
Benda Uji	Nilai CBR Bagian Atas (%)			Nilai CBR Bagian Bawah (%)		
	Mould 1	Mould 2	Rata-rata	Mould 1	Mould 2	Rata-rata
OMC	26,067	24,794	25,431	26,292	25,993	26,142
OMC + 20%X	25,275	25,393	25,334	32,517	33,067	32,792
OMC + 40%X	21,528	26,667	24,098	28,921	31,818	30,370
OMC + 60%X	22,378	20,679	21,528	27,173	23,127	25,150
OMC + 80%X	12,659	16,384	14,521	15,035	17,932	16,484

Pengaruh Kadar Abu Terbang terhadap Pemadatan (*compaction*)

Dari hasil pengujian pemadatan tanah uji (*proctor test*), maka dapat diketahui pengaruh kadar abu terbang terhadap karakteristik pemadatan. Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 dapat dilihat karakteristik dari pemadatan tanah campuran tanah lempung dengan abu terbang pada berbagai variasi persentase yang menunjukkan kecenderungan meningkatnya kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*) dan menurunnya kepadatan kering maksimum (*Maximum Dry Density*).



Gambar 2 Grafik Pengaruh Abu Terbang terhadap Kadar Air Optimum



Gambar 3 Grafik Pengaruh Abu Terbang terhadap Kepadatan Maksimum

Pengaruh Perendaman terhadap Nilai CBR

Berdasarkan nilai CBR yang telah diperoleh, maka dapat dianalisa besarnya perubahan nilai CBR setelah dilakukan perendaman terhadap nilai CBR yang diuji tanpa rendaman, sehingga diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Pengaruh Perendaman terhadap Nilai CBR

Deskripsi Tanah	Nilai CBR Tanpa Rendaman (%)		Nilai CBR Rendaman (%)		Persentase Perubahan Nilai CBR (%)	
	[A]		[B]		[C = (A-B)/A * 100%]	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
Tanah Lempung Asli	22,060	22,550	10,375	13,895	52,969	38,381
90% Lempung + 10% Abu terbang	22,547	22,921	15,360	15,634	31,876	31,792
85% Lempung + 15% Abu terbang	23,970	24,343	12,434	13,258	48,127	45,537
80% Lempung + 20% Abu terbang	24,195	24,510	11,063	13,109	54,276	46,516
75% Lempung + 25% Abu terbang	25,993	26,442	8,403	9,026	67,672	65,865
70% Lempung + 30% Abu terbang	25,431	26,142	13,521	14,382	46,833	44,985

Perendaman yang dilakukan akan meningkatkan kadar air tanah sehingga kekuatan tanah menjadi berkurang dan mengakibatkan penurunan nilai CBR.

Karena dengan adanya perendaman yang dilakukan akan meningkatkan kadar air tanah sehingga kekuatan tanah menjadi berkurang dan mengakibatkan penurunan nilai CBR.

Pengaruh Kadar Air diatas OMC terhadap Nilai CBR

Rekapitulasi hasil pengujian CBR tanpa rendaman dengan perlakuan sampel yang langsung dipadatkan didalam *mould* kemudian diperam selama 28 hari dapat dilihat pada Tabel 12.

Berdasarkan hasil pengujian CBR yang diperoleh, dapat ditentukan besarnya persentase perubahan nilai CBR akibat pemadatan yang dilakukan dengan kadar air di atas OMC terhadap nilai CBR yang dipadatkan pada kondisi OMC, besarnya perubahan tersebut terdapat pada Tabel 13.

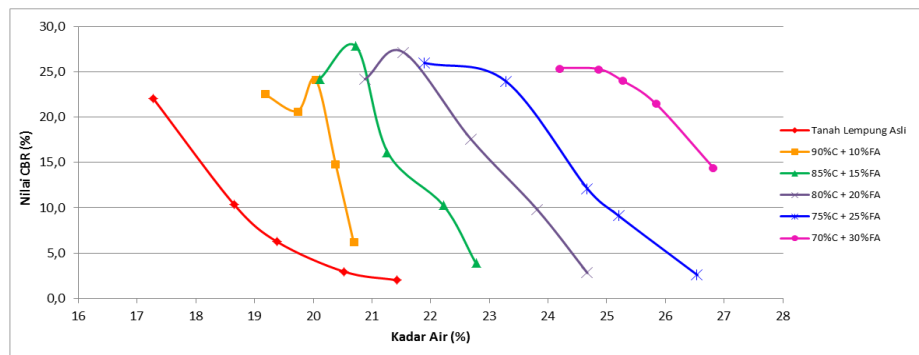
Tabel 12 Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR tanpa Rendaman

No.	Deskripsi Tanah	Nilai CBR kondisi OMC (%)		Nilai CBR diatas OMC kondisi diperam (%)							
				OMC + 20%X		OMC + 40%X		OMC + 60%X		OMC + 80%X	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	Tanah Lempung Asli	22,060	22,550	10,315	11,214	6,219	7,143	2,947	4,371	1,998	2,972
2	90% Lempung + 10% Abu terbang	22,547	22,921	20,679	21,004	24,185	24,772	14,835	15,709	6,294	8,941
3	85% Lempung + 15% Abu terbang	24,202	24,343	27,790	30,766	16,109	16,334	10,240	12,413	3,871	5,020
4	80% Lempung + 20% Abu terbang	24,195	24,510	27,191	28,468	17,582	20,729	9,815	10,914	2,797	3,921
5	75% Lempung + 25% Abu terbang	25,993	26,442	23,985	25,059	12,088	13,437	9,141	11,014	2,572	3,172
6	70% Lempung + 30% Abu terbang	25,431	26,142	25,334	32,792	24,098	30,370	21,528	25,150	14,521	16,484

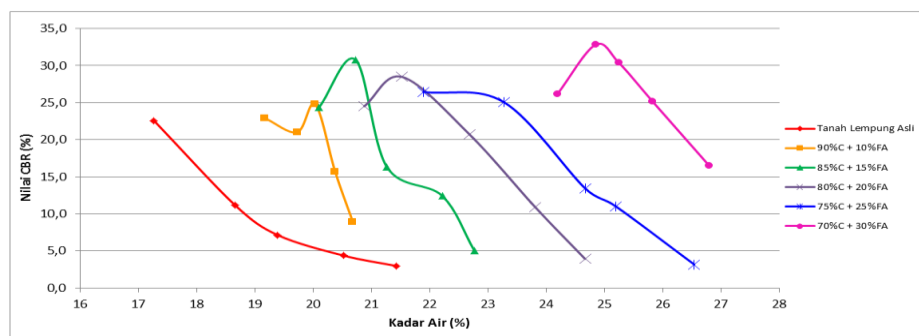
Tabel 13 Persentase Perubahan Nilai CBR Akibat Pemadatan pada Kondisi Kadar Air diatas OMC

No.	Deskripsi Tanah	Nilai CBR diatas OMC kondisi diperam (%)							
		OMC + 20%X		OMC + 40%X		OMC + 60%X		OMC + 80%X	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	Tanah Lempung Asli	53,241	50,271	71,809	68,324	86,641	80,616	90,943	86,820
2	90% Lempung + 10% Abu terbang	8,285	8,364	-7,265	-8,076	34,204	31,465	72,085	60,992
3	85% Lempung + 15% Abu terbang	-14,825	-26,385	33,439	32,901	57,689	49,008	84,005	79,378
4	80% Lempung + 20% Abu terbang	-12,383	-16,149	27,332	15,426	59,434	55,471	88,440	84,002
5	75% Lempung + 25% Abu terbang	7,725	5,230	53,495	49,183	64,833	58,347	90,105	88,004
6	70% Lempung + 30% Abu terbang	0,381	-25,438	5,242	-16,173	15,347	3,795	42,900	36,944

Berdasarkan hasil pengujian CBR yang telah diperoleh, maka diketahui hubungan antara kadar air dan nilai CBR tanah yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4 Grafik Pengaruh Kadar Air di Atas OMC Terhadap Nilai CBR pada Bagian Atas Tanah Uji



Gambar 5 Grafik Pengaruh Kadar Air di Atas OMC Terhadap Nilai CBR pada Bagian Bawah Tanah Uji

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan mengenai pengaruh penambahan air diatas kadar air optimum (OMC) terhadap nilai CBR dengan dan tanpa rendaman pada tanah lempung yang dicampur abu terbang, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin bertambahnya persentase abu terbang dalam campuran tanah uji, maka nilai kadar air optimum (OMC) akan semakin meningkat dan nilai berat volume kering maksimum ($\gamma_{dry maks}$) menurun. Selain itu semakin meningkatnya kadar abu terbang dalam campuran tanah uji, nilai indeks plastisitas dan berat jenis (Gs) semakin menurun.
2. Perendaman akan mengakibatkan menurunnya nilai CBR tanah, penurunan terbesar nilai CBR akibat perendaman terhadap nilai CBR tanpa rendaman mencapai 67,672% pada bagian atas tanah uji dan pada bagian bawah tanah uji penurunan nilai CBR mencapai 65,865%.
3. Pemadatan yang dilakukan pada kadar air di atas OMC menyebabkan berkurangnya kepadatan dan kekuatan tanah, sehingga nilai CBR tanah mengalami penurunan. Namun jika pemadatan dilakukan pada kadar air OMC, nilai CBR tanpa rendaman mengalami peningkatan, sedangkan nilai CBR rendaman nya mengalami penurunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi, Gogot Setyo., Cristanto, Andy., Setiawan, Eddy. 2003. *Pengaruh Fly Ash Terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif*. Jurnal Civil Engineering Dimension. Vol 5, (1)2003: 20-24.
- Bowles, J.E. 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hartosukma, Endang Widorowati. 2005. *Perilaku Tanah Lempung Ekspansif Karangawen Demak Akibat Penambahan Semen dan Fly Ash Sebagai Stabilizing Agents*. Tesis Program Pasca Sarjana. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nainggolan, Abdi Sihar. 2012. *Karakteristik Kimia, Fisis, dan Mekanis Abu Terbang (Fly Ash) dalam Geoteknik*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Sulistyowati, Tri. 2006. *Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Fly-Ash Terhadap Nilai Daya Dukung CBR*. Vol 2, (1)2006: 77-83.