

STUDI PENGARUH UKURAN BUTIR TERHADAP PARAMETER KOMPAKSI DAN NILAI CBR MATERIAL *CRUSHED LIMESTONE* PADALARANG

Andrias Suhendra Nugraha ⁽¹⁾, Jordan D. Fahlevi ⁽²⁾, William H. Soentpiet ⁽²⁾

⁽¹⁾ Mahasiswa Program Doktor Ilmu Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan
dan Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha
Email: andrias.snugraha@gmail.com

⁽²⁾ Alumni Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha
Email: jordandeanf@gmail.com, williamhanrysoentpiet@yahoo.co.id

ABSTRAK

Suatu konstruksi jalan terdiri dari beberapa lapisan yaitu *subgrade* (tanah dasar), *subbase* (lapis pondasi bawah), *base* (lapis pondasi atas), dan *surface* (lapis permukaan). Untuk lapisan *subbase*, dan *base* dapat digunakan batu pecah (*crushed rock*). Salah satu material batu pecah tersebut adalah *crushed limestone*. *Crushed limestone* adalah *limestone* (batu kapur) yang telah melalui proses *crushing* di pabrik untuk mendapatkan berbagai ukuran butir yang dibutuhkan dalam keperluan desain.

Tujuan studi ini adalah untuk menganalisis pengaruh ukuran butir terhadap parameter kompaksi dan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) material *crushed limestone*. Material *crushed limestone* yang digunakan berasal dari daerah Padalarang, Jawa Barat. Ukuran butir *equivalent* dari material *crushed limestone* yang digunakan sebagai sampel uji antara lain adalah: 2mm (SU1), 3mm (SU2) dan 4mm (SU3). Uji kompaksi di laboratorium menggunakan tata cara *standard Proctor test* dengan mengacu pada standar uji ASTM D 698. Uji CBR di laboratorium mengacu pada standar uji ASTM D 1883.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio kenaikan *maximum dry density*, $\gamma_{dry\ max}$ SU2 dan SU3 terhadap $\gamma_{dry\ max}$ SU1 berturut-turut adalah; 0.6% dan 1.9%, hal ini menunjukkan bahwa peningkatan ukuran butir *equivalent* dari 2mm ke 4mm tidak berpengaruh secara signifikan terhadap parameter $\gamma_{dry\ max}$. Rasio kenaikan nilai CBR *design* SU2 dan SU3 terhadap CBR *design* SU1 berturut-turut adalah; 16.3% dan 32.7%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir *equivalent* material *crushed limestone* maka semakin tinggi nilai CBR *design*.

Kata kunci: *crushed limestone*, kompaksi, CBR, ukuran butir, w_{opt} , $\gamma_{dry\ max}$

ABSTRACT

A road construction consists of several layers, namely subgrade, subbase, base, and surface. For the subbase layer, and the base can be used crushed rock. One of the crushed rock materials is crushed limestone. Crushed limestone is a limestone that has gone through a crushing process at the factory to obtain various grain sizes needed in the design requirements.

The purpose of this study was to analyze the effect of grain size on compaction parameters and the value of California Bearing Ratio (CBR) crushed limestone. The crushed limestone material used comes from the Padalarang area, West Java. The grain size equivalent of crushed limestone materials used as test samples respectively; 2mm (SU1), 3mm (SU2) and 4mm (SU3). Compaction tests in the laboratory uses the standard Proctor test procedure according to the ASTM D 698. The CBR tests in the laboratory according to the ASTM D 1883.

The results of the study indicate that increase ratio of maximum dry density, $\gamma_{dry\ max}$ SU2 and SU3 to $\gamma_{dry\ max}$ SU1 respectively as follows; 0.6% and 1.9%, this indicates that the increase in grain size equivalent from 2mm to 4mm does not significantly influence the maximum dry density, $\gamma_{dry\ max}$. Increase ratio of CBR design SU2 and SU3 to CBR design SU1 respectively as follows; 16.3% and 32.7%. This shows that the greater the grain size equivalent of material crushed limestone, the higher the CBR design value.

Keywords: crushed limestone, compaction, CBR, grain size, w_{opt} , $\gamma_{dry\ max}$.

1. PENDAHULUAN

Suatu konstruksi jalan terdiri dari beberapa lapisan yaitu *subgrade* (tanah dasar), *subbase* (lapis pondasi bawah), *base* (lapis pondasi atas), dan *surface* (lapis permukaan). Spesifikasi desain konstruksi jalan diantaranya mensyaratkan kajian terhadap material yang akan digunakan baik sebagai material lapisan *base* maupun *subbase* pada konstruksi jalan tersebut. Untuk lapisan *subbase*, dan *base* dapat digunakan batu pecah (*crushed rock*). Salah satu material batu pecah tersebut adalah *crushed limestone*.

Crushed limestone adalah *limestone* (batu gamping) yang telah melalui proses *crushing* di pabrik untuk mendapatkan berbagai ukuran butir yang dibutuhkan dalam keperluan desain. *Limestone* termasuk jenis batuan sedimen (*sedimentary rock*) yang secara umum mengandung mineral *calcite* (Waltham 2009). Untuk daerah Jawa Barat, *limestone* banyak terdapat di daerah Padalarang kawasan karst Citatah Rajamandala, Kabupaten Bandung Barat (Yunianto 2009).

Untuk setiap material yang akan digunakan sebagai lapisan *base* maupun *subbase* pada suatu desain konstruksi jalan, diperlukan tinjauan terhadap *engineering properties* seperti; indeks properti (kadar air / *water content*, w dan *specific gravity*, G_s), distribusi ukuran butir, gradasi, parameter kompaksi (berat kering maksimum / *maximum dry density*, $\gamma_{dry\ max}$ dan kadar air optimum / *optimum moisture content*, w_{opt}), dan nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Tinjauan *engineering properties* terhadap material *crushed limestone* diharapkan dapat memberikan kontribusi untuk pemahaman terhadap parameter-parameter material tersebut untuk keperluan desain suatu konstruksi jalan. Pada studi ini akan dilakukan tinjauan pengaruh ukuran butir terhadap parameter kompaksi dan nilai CBR material *crushed limestone*.

2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan studi ini adalah untuk menganalisis pengaruh ukuran butir terhadap parameter kompaksi dan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) material *crushed limestone* Padalarang

3. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup studi adalah sebagai berikut:

1. Material *crushed limestone* yang digunakan berasal dari daerah Padalarang, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat.
2. Parameter kompaksi yang menjadi tinjauan adalah *maximum dry density* (berat kering maksimum), $\gamma_{dry\ max}$ dan *optimum moisture content* (kadar air optimum) w_{opt} .

3. Ukuran butir *equivalent* dari material *crushed limestone* yang digunakan sebagai sampel uji antara lain adalah 2mm, 3mm dan 4mm.
4. Untuk *sieve analysis* di laboratorium dan klasifikasi tanah mengacu pada standar uji : BS 1377, ASTM C 136 dan ASTM D 2487.
5. Uji kompaksi di laboratorium menggunakan tata cara *standard proctor test* dengan mengacu pada standar uji ASTM D 698.
6. Uji CBR kondisi *unsoaked* (tidak terendam) di laboratorium mengacu pada standar uji ASTM D 1883.
7. Sampel uji CBR menggunakan satu nilai kadar air yaitu; kadar air optimum, w_{opt} yang diperoleh dari kurva kompaksi.
8. Nilai *CBR design* diperoleh dari 100% berat kering maksimum, $\gamma_{dry max}$.
Pengujian material *crushed limestone* dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah-Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha Bandung.

4. MATERIAL UJI *CRUSHED LIMESTONE*

Material uji yang digunakan pada studi ini adalah *limestone* yang diambil dari daerah Padalarang, Jawa Barat. Pengambilan material *limestone* dari *quarry* (sumber material) hingga ke pabrik untuk dilakukan proses *crushing* tampak pada Gambar 1. Ukuran awal dari material *limestone* yang berasal dari *quarry* adalah berupa *boulder* (*grain size* > 300mm, ASTM D 4287) seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 1. Pengambilan Material *Limestone* (a) *Quarry Limestone* (b) Tempat Material *Limestone* di Pabrik



Gambar 2. *Limestone* berukuran *Boulder* (*Grain Size* > 300mm)



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Mesin *Crusher* di Pabrik (b) Susunan Ayakan 4mm, 3mm, 2mm dan 1mm

Untuk mendapatkan ukuran butir yang akan digunakan sebagai sampel uji, material *limestone* yang berasal dari *quarry* tersebut mengalami proses *crushing*. Proses *crushing* (penghancuran) dilakukan dengan menggunakan mesin *crusher* di salah satu pabrik di kawasan Padalarang. Mesin *crusher* yang digunakan untuk proses *crushing* material *limestone* tampak pada Gambar 3.

Proses *crushing* dimulai dengan tahap penghancuran material *limestone* berukuran lebih besar dari 256mm (*boulder*) hingga proses tapis dengan saringan yang tersusun dimulai dari 4mm, 3mm, 2mm, dan 1mm. *Output* dari hasil proses *crushing* terhadap material *crushed limestone* yang akan digunakan sebagai sampel uji pada studi ini tampak pada Tabel 1. Selanjutnya material *crushed limestone* yang telah melalui

proses *crushing* tersebut dimasukkan ke dalam karung dengan berat \pm 50 kg/karung untuk dibawa ke laboratorium sebagai sampel uji. Contoh sampel uji yang telah dimasukkan ke dalam karung tampak pada Gambar 4.

Tabel 1. Ukuran Butir Material *Crushed Limestone*

No. Material	Ukuran Butir	Ukuran Butir <i>Equivalent</i>
1	P#2mm R#1mm	2mm
2	P#3mm R#2mm	3mm
3	P#4mm R#3mm	4mm

Keterangan : P = *Passing* (lolos)
R = *Retained* (tertahan)
= saringan



Gambar 4. Sampel Uji Material *Crushed Limestone* dalam Karung

Berat material *crushed limestone* yang disiapkan untuk pengujian di laboratorium tampak pada Tabel 2.

Tabel 2. Berat Material *Crushed Limestone*

No. Material	Berat Material untuk Uji di Laboratorium (Kg)	Keterangan
1	150	3 Karung @ 50Kg
2	150	3 Karung @ 50Kg
3	150	3 Karung @ 50Kg

Pada pembahasan berikutnya dari studi ini, sampel uji material *crushed limestone* akan mengikuti penomoran sampel uji seperti tampak pada Tabel 3.

Tabel 3. Penomoran Sampel Uji

No. Material	Ukuran Butir <i>Equivalent</i>	No. Sampel Uji
1	2mm	SU1
2	3mm	SU2
3	4mm	SU3

5 HASIL UJI DAN ANALISIS

5.1. Indeks Properti Material *Crushed Limestone*

Uji indeks properti yang dilakukan pada material *crushed limestone* adalah uji *water content* (kadar air), w dan *specific gravity*, G_s . Kadar air yang dimaksud pada uji ini adalah kadar air inisial saat sampel uji dikeluarkan dari karung untuk tahap persiapan sampel uji. Hasil uji indeks properti tampak pada Tabel 4.

Tabel 4. Indeks Properti Material *Crushed Limestone*

Sampel Uji	<i>Water Content</i> , w (%)	<i>Specific Gravity</i> , G_s
SU1	0,03	2,72
SU2	0,17	2,71
SU3	0,05	2,72

Nilai *specific gravity*, G_s untuk berbagai mineral utama batuan tampak Tabel 5.

Tabel 5. *Specific Gravity* untuk berbagai Mineral Batuan
(Look 2007, Waltham 2009)

Mineral	Specific gravity	Origin		
		Sedimentary	Metamorphic	Igneous
Quartz	2.7	✓	✓	✓
Feldspar	2.6		✓	✓
Hematite	5.1	✓		
Pyrite	5.0	✓		
Epidote	3.3		✓	
Mafics	>3.0			✓
Limonite	3.6	✓	✓	
Dolomite	2.8	✓		
Calcite	2.7	✓	✓	
Muscovite	2.8	✓	✓	✓
Biotite	2.9		✓	✓
Kaolinite	2.6	✓	✓	
Illite	2.6	✓		
Smectite	2.6	✓		
Chlorite	2.7		✓	
Gypsum	2.3	✓		

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai *specific gravity*, G_s untuk ketiga sampel uji seperti dinyatakan pada Tabel 4 (SU1, SU2, dan SU3) yang berturut-turut adalah; 2,72, 2,71 dan 2,72, secara keseluruhan bersesuaian dengan mineral *Calcite* yang merupakan mineral utama dari *limestone*.

5.2. Unsur Kimia Material *Crushed Limestone*

Uji unsur kimia dilakukan terhadap material *crushed limestone* dengan tujuan untuk mendapatkan jenis dan besaran kandungan-kandungan kimia yang terdapat pada material tersebut. Metode uji yang digunakan adalah *XRF method chemistry*. Pengujian unsur kimia dilakukan di Laboratorium Pusat Survei Geologi, Bandung. Hasil uji unsur kimia tampak pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Unsur Kimia Metode XRF

Oksida (<i>oxides</i>)	Satuan (<i>Unit</i>)	Jumlah (<i>Amount</i>)	Elemen (<i>Elements</i>)
SiO ₂	%	0,839	Si
TiO ₂	%	0,0155	Ti
Al ₂ O ₃	%	0,268	Al
Fe ₂ O ₃	%	0,232	Fe
MnO	%	0,0095	Mn
CaO	%	55,86	Ca
MgO	%	1,33	Mg
Na ₂ O	%	0,0878	Na
K ₂ O	%	0,0174	K
P	%	0,0325	P
SO ₃	%	0,0150	S
LOI	%	40,36	-
SrO	%	0,0286	Sr

Ket.: LOI = *Lost of Ignation* (bahan uji yang hilang pada saat proses pembakaran)

Hasil uji unsur kimia menunjukkan bahwa oksida yang terbesar adalah CaO, dengan jumlah 55,86%.

5.3. Gradasi Material *Crushed Limestone*

Uji *sieve analysis* dengan metoda *wet sieving* dilakukan pada sampel uji SU1, SU2, dan SU3 untuk dapat mengetahui *coefficient of uniformity* (koefisien keseragaman), C_u , *coefficient of curvature* (koefisien gradasi), C_c , nilai % *finer* (persen material yang lolos saringan 0.075mm) serta jenis gradasi. Parameter C_u dan C_c diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \quad (2)$$

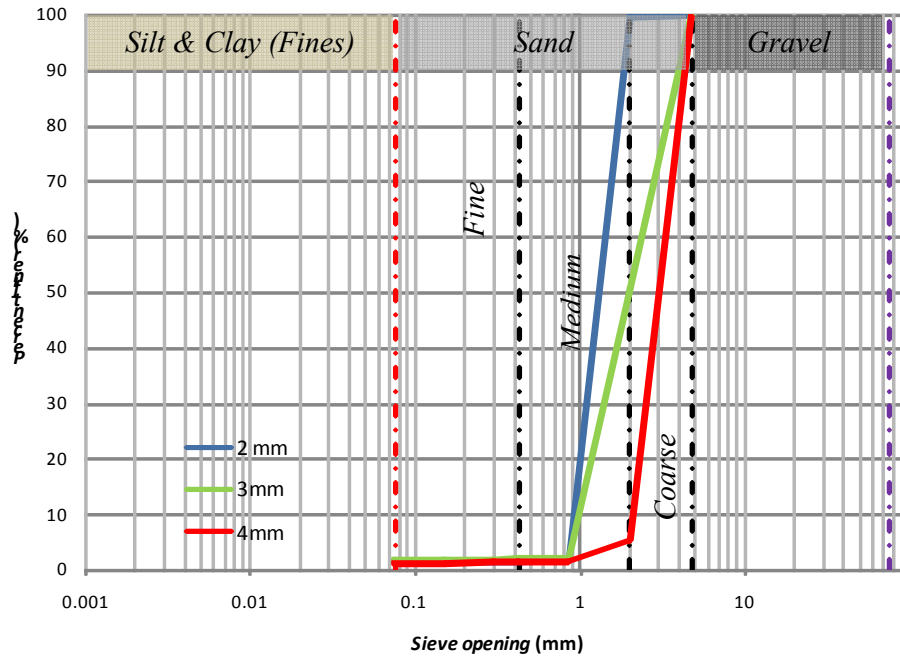
dimana:

D_{10} = diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan (*sieve*)

D_{30} = diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan (*sieve*)

D_{60} = diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan (*sieve*)

Kurva distribusi ukuran butir untuk ketiga sampel uji (SU1, SU2, dan SU3) tampak pada Gambar 5. Sementara nilai C_u , C_c , % *finer* dan jenis gradasi untuk ketiga sampel uji tampak pada Tabel 7.



Gambar 5. Kurva Distribusi Ukuran Butir

Tabel 7. Parameter C_u , C_c , % *Fines* dan Jenis Gradasi Material *Crushed Limestone*

Sampel Uji	Coefficient of Uniformity (C_u)	Coefficient of Curvature (C_c)	% <i>Fines</i>	Jenis Gradasi
SU1	1,62	0,96	1,46	<i>Poorly graded</i>
SU2	2,43	0,87	1,97	<i>Poorly graded</i>
SU3	1,68	0,96	1,36	<i>Poorly graded</i>

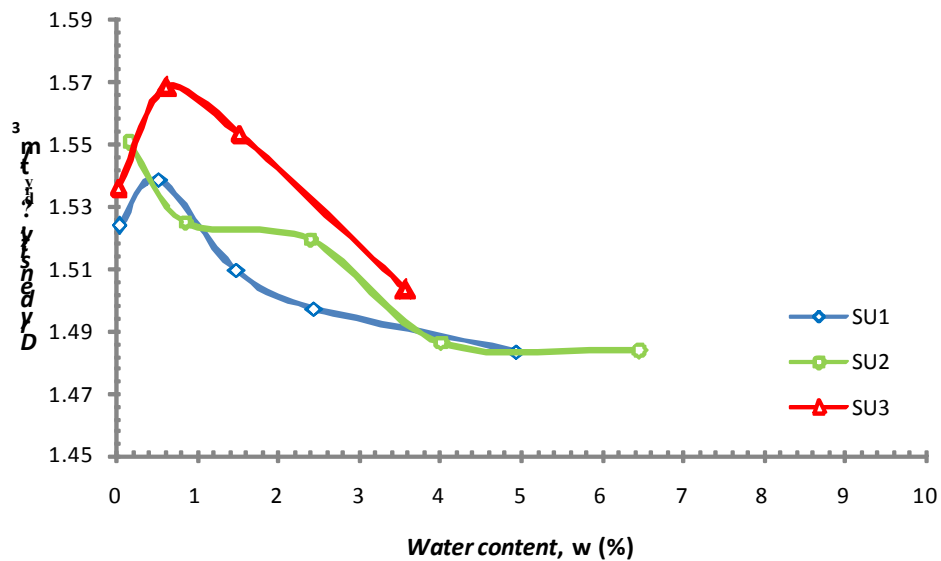
Berdasarkan kurva distribusi ukuran butir untuk ketiga sampel uji seperti tampak pada Gambar 5 menunjukkan bahwa, ukuran butir yang dominan untuk setiap sampel uji berturut-turut adalah; memiliki ukuran butir sama dengan ukuran butir *medium sand*

untuk SU1, memiliki ukuran butir sama dengan ukuran butir *medium sand* dan *coarse sand* untuk SU2 dan memiliki ukuran butir sama dengan ukuran butir *coarse sand* untuk SU3.

Berdasarkan Tabel 7, nilai C_u untuk sampel uji SU1 dan sampel uji SU3 memiliki nilai yang mendekati 1, hal ini menunjukkan bahwa sampel uji SU1 dan SU3 cenderung didominasi oleh satu ukuran butir atau memiliki ukuran butir yang seragam (*uniform*). Selain nilai C_u , sampel uji SU1 dan SU3 memiliki nilai C_c dan % *finer* yang hampir sama juga. Sementara untuk sampel uji SU2, seluruh parameter pada Tabel 7 (C_u , C_c dan % *finer*) mempunyai nilai yang berbeda dengan sampel uji SU1 dan SU3. Jenis gradasi untuk ketiga sampel uji (SU1, SU2, dan SU3) adalah *poorly graded* (bergradasi buruk).

5.4. Analisis Hasil Uji Kompaksi Material *Crushed Limestone*

Uji kompaksi di laboratorium dengan metoda uji *standard Proctor* dilakukan pada ketiga sampel uji (SU1, SU2 dan SU3). Kurva kompaksi untuk ketiga sampel uji pada Gambar 6, sementara parameter kompaksi yang diperoleh dari kurva kompaksi tampak pada Tabel 8.



Gambar 6. Kurva Kompaksi Material *Crushed Limestone*

Tabel 8. Parameter Kompaksi Material *Crushed Limestone*

Sampel Uji	Ukuran Butir <i>Equivalent</i>	<i>Maximum Dry Density,</i> $\gamma_{dry\ max} (t/m^3)$	<i>Optimum Moisture Content,</i> $w_{opt} (%)$
SU1	2mm	1,54	0,53
SU2	3mm	1,55	0,19
SU3	4mm	1,57	0,64

Berdasarkan Gambar 6 tampak bahwa, kurva kompaksi untuk sampel uji SU1 similar terhadap kurva kompaksi sampel uji SU3 walaupun memiliki puncak kurva yang berbeda. Tetapi tidak demikian halnya untuk sampel uji SU2 yang menunjukkan bentuk kurva yang berbeda dengan sampel uji SU1 dan SU3. Kondisi bentuk kurva yang similar untuk sampel uji SU1 dan SU3 selaras dengan kondisi nilai C_u , C_c dan % *finer* (Tabel 7) yang hampir sama juga untuk sampel uji SU1 dan SU3.

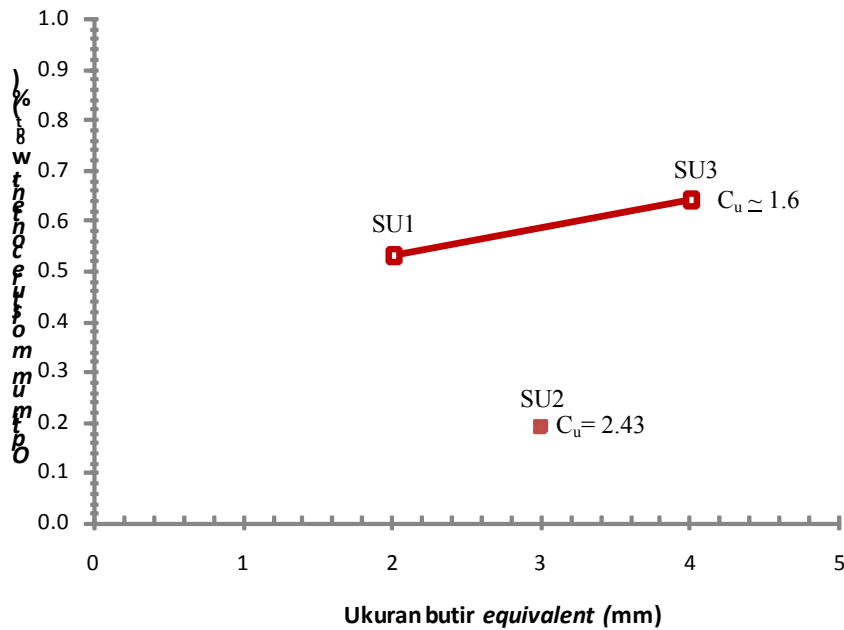
Berdasarkan Tabel 8 tampak bahwa, nilai *maximum dry density*, $\gamma_{dry\ max}$ dan *optimum moisture content*, w_{opt} yang paling besar adalah pada sampel uji SU3, dimana sampel uji SU3 juga memiliki ukuran butir *equivalent* yang terbesar yaitu 4mm.

Pengaruh ukuran butir *equivalent* sampel uji SU1, SU2 dan SU3 terhadap nilai *optimum moisture content*, w_{opt} dinyatakan pada Tabel 9 dan Gambar 7. Pada Tabel 9 juga dinyatakan rasio kenaikan nilai w_{opt} SU3 terhadap w_{opt} SU1, dimana rasio kenaikannya adalah sebesar 20.8%. Rasio kenaikan w_{opt} SU2 terhadap w_{opt} SU1 tidak diperhitungkan karena nilai C_u sampel uji SU2 berbeda dengan nilai C_u sampel uji SU1.

Tabel 9. Nilai *Optimum Moisture Content*, w_{opt} Material *Crushed Limestone*

Sampel Uji	Ukuran Butir <i>Equivalent</i>	<i>Coefficient of Uniformity</i> (C_u)	<i>Optimum Moisture Content,</i> $w_{opt} (%)$	Kenaikan nilai w_{opt} terhadap w_{opt} SU1 (%)
SU1	2mm	1,62	0,53	-
SU2	3mm	2,43	0,19	*
SU3	4mm	1,68	0,64	20.8

*tidak diperhitungkan



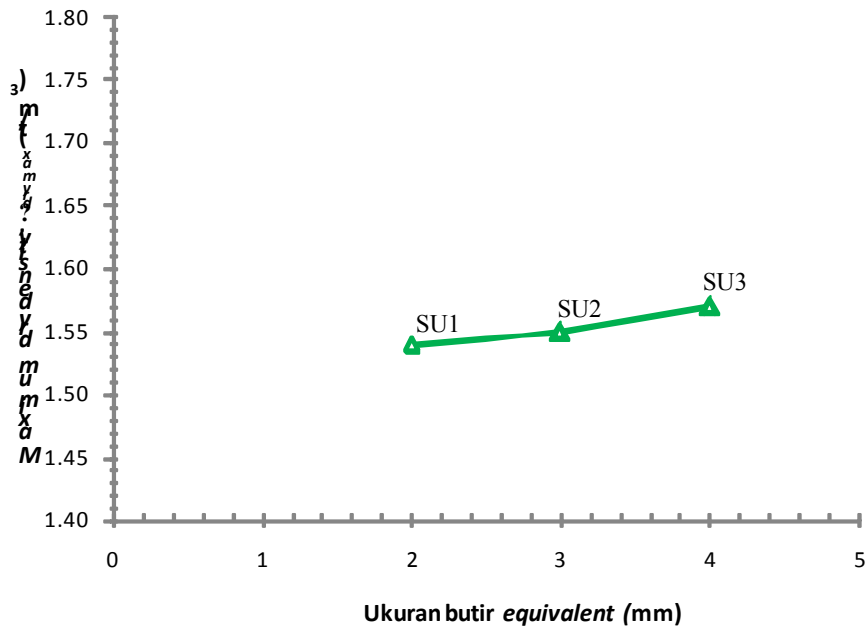
Gambar 7. Kurva Ukuran Butir *Equivalent* terhadap *Optimum Moisture Content, w_{opt}* Material *Crushed Limestone*

Berdasarkan Gambar 7 tampak bahwa, semakin besar ukuran butir *equivalent* material *crushed limestone* dengan nilai kondisi *coefficient of uniformity*, C_u yang sama maka semakin tinggi nilai *optimum moisture content*, w_{opt} .

Pengaruh ukuran butir *equivalent* sampel uji SU1, SU2 dan SU3 terhadap nilai *maximum dry density*, $\gamma_{dry\ max}$ dinyatakan pada Tabel 10 dan Gambar 8. Pada Tabel 10 juga dinyatakan rasio kenaikan nilai $\gamma_{dry\ max}$ SU3 dan SU2 terhadap $\gamma_{dry\ max}$ SU1, dimana rasio kenaikannya berturut-turut adalah 0.6% dan 1.9%.

Tabel 10. Nilai *Maximum Dry Density*, $\gamma_{dry\ max}$ Material *Crushed Limestone*

Sampel Uji	Ukuran Butir <i>Equivalent</i>	<i>Coefficient of Uniformity</i> (C_u)	<i>Maximum Dry Density</i> , $\gamma_{dry\ max}$ (t/m^3)	Kenaikan Nilai $\gamma_{dry\ max}$ terhadap $\gamma_{dry\ max}$ SU1 (%)
SU1	2mm	1,62	1,54	-
SU2	3mm	2,43	1,55	0.6
SU3	4mm	1,68	1,57	1.9

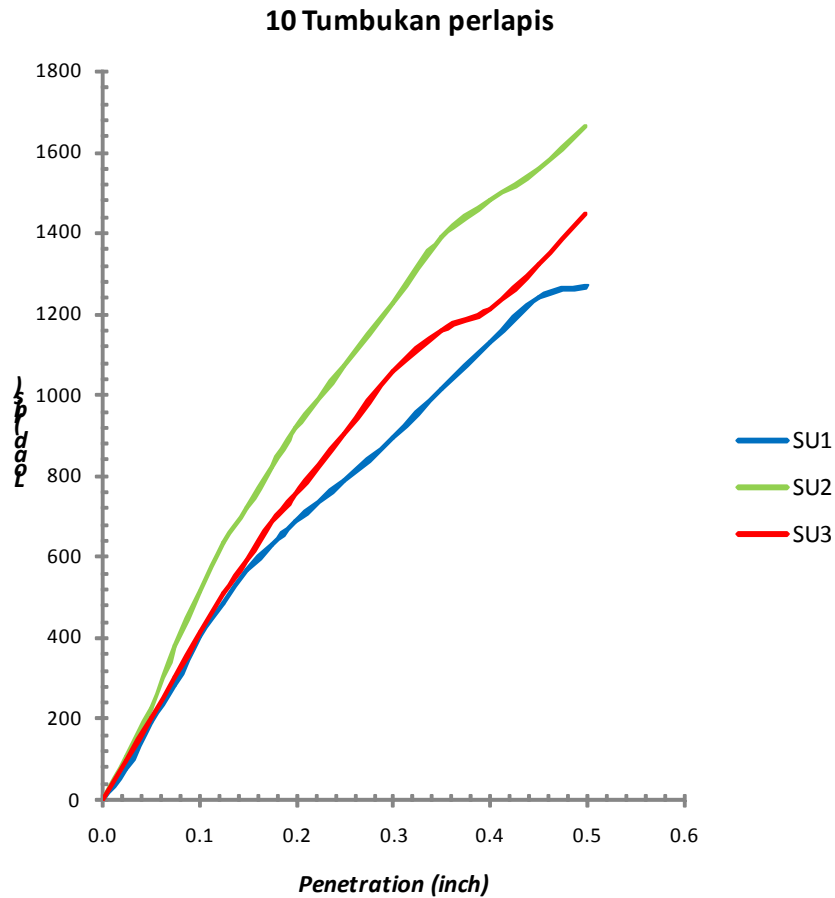


Gambar 8. Kurva Ukuran Butir *Equivalent* terhadap *Maximum Dry Density*, $\gamma_{dry\ max}$ Material *Crushed Limestone*

Berbeda halnya dengan parameter w_{opt} , semakin besar ukuran butir *equivalent* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap parameter *maximum dry density*, $\gamma_{dry\ max}$, hal ini tampak pada Tabel 10 yang menunjukkan bahwa tingkat kenaikan $\gamma_{dry\ max}$ SU2 dan SU3 terhadap $\gamma_{dry\ max}$ SU1 berturut-turut hanya sebesar; 0.6% dan 1.9%. Berdasarkan Gambar 8 tampak bahwa, nilai C_u tidak mempengaruhi nilai $\gamma_{dry\ max}$, sehingga dapat diperoleh kurva antara ukuran butir *equivalent* dan *maximum dry density*, $\gamma_{dry\ max}$ yang melalui titik SU1, SU2 dan SU3 seperti yang tampak pada Gambar 8.

5.5. Analisis Hasil Uji CBR Material *Crushed Limestone*

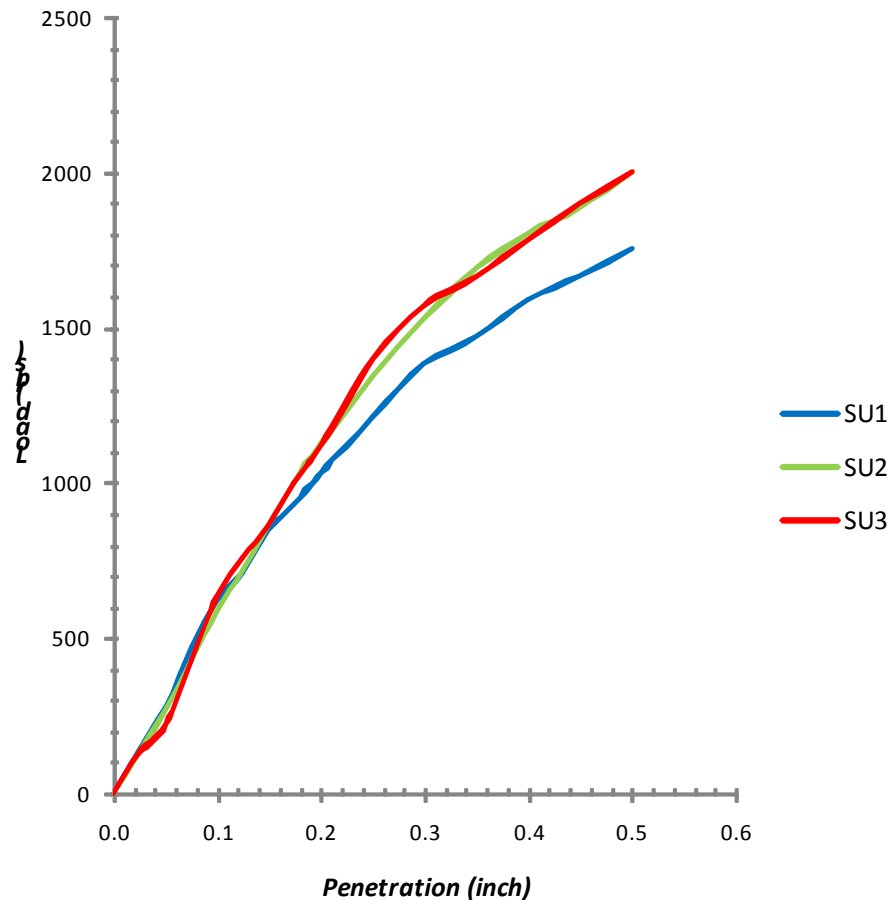
Uji CBR kondisi *unsoaked* di laboratorium dilakukan pada ketiga sampel uji (SU1, SU2 dan SU3) mengacu pada standar uji ASTM 1883. Uji CBR dilakukan dengan menggunakan satu kadar air yaitu *optimum moisture content*, w_{opt} untuk setiap sampel uji. Energi yang diberlakukan pada setiap sampel uji adalah 10 tumbukan perlapis, 25 tumbukan perlapis dan 56 tumbukan perlapis untuk total 3 lapisan pada setiap sampel uji pada *mold* (cetakan) CBR. Kurva antara *load* dan *penetration* ketiga sampel uji untuk setiap energi pemadatan (10, 25 dan 56 tumbukan perlapis) tampak pada Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 9. Kurva *Load – Penetration* Material *Crushed Limestone* dengan Energi Pematatan 10 Tumbukan Perlapis

Berdasarkan kurva *load – penetration* pada Gambar 9 dengan energi pematatan sebesar 10 tumbukan perlapis; pada sampel uji SU1 dan SU3 (kedua sampel uji ini memiliki nilai *coefficient of uniformity*, $C_u \simeq 1,6$), ditunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir *equivalent* maka semakin besar beban (*load*) yang dapat bekerja pada sampel uji untuk kondisi penetrasi $> 0,2$ inch. Untuk sampel uji SU2 yang memiliki *coefficient of uniformity*, $C_u = 2,43$ ($> C_u$ SU1 dan C_u SU3), ditunjukkan bahwa semakin besar nilai C_u maka semakin besar beban (*load*) yang dapat bekerja pada sampel uji untuk kondisi penetrasi $> 0,1$ inch.

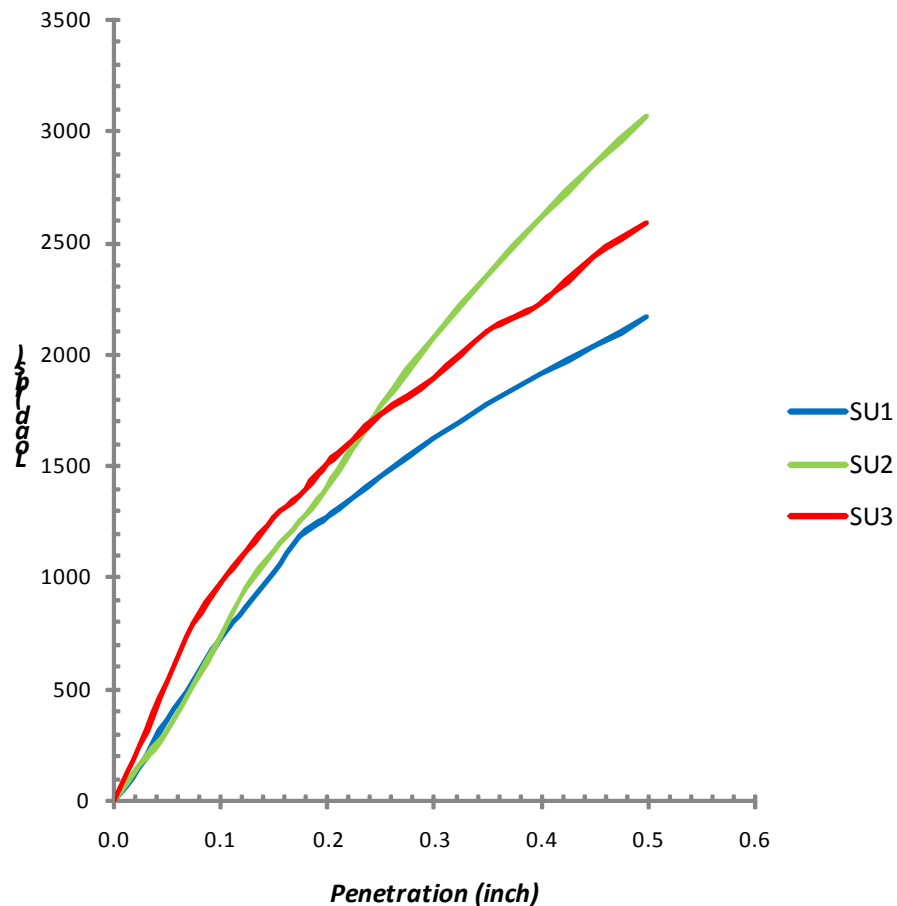
25 Tumbukan Perlapis



Gambar 10. Kurva *Load – Penetration* Material *Crushed Limestone* dengan Energi Pemadatan 25 Tumbukan Perlapis

Berdasarkan kurva *load – penetration* pada Gambar 10 dengan energi pemadatan sebesar 25 tumbukan perlapis; pada sampel uji SU1 dan SU3 (kedua sampel uji ini memiliki nilai C_u yang hampir sama) ditunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir *equivalent* maka semakin besar beban (*load*) yang dapat bekerja pada sampel uji untuk penetrasi $> 0,2$ inch. Untuk sampel uji SU2 yang memiliki nilai C_u lebih besar dari SU1 dan SU3, kurva *load – penetration* yang dihasilkan oleh sampel SU2 mendekati kurva *load – penetration* SU3. Hal tersebut menunjukkan bahwa energi pemadatan yang bertambah dari 10 tumbukan ke 25 tumbukan perlapis menghasilkan perubahan kurva *load – penetration*.

56 Tumbukan Per lapis



Gambar 11. Kurva *Load – Penetration* Material *Crushed Limestone* dengan Energi Pemadatan 56 Tumbukan Per lapis

Berdasarkan kurva *load – penetration* pada Gambar 11 dengan energi pemadatan sebesar 56 tumbukan per lapis; pada sampel uji SU1 dan SU3 (kedua sampel uji ini memiliki nilai C_u yang hampir sama) ditunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir *equivalent* maka semakin besar beban (*load*) yang dapat bekerja pada sampel uji untuk setiap penetrasi. Sementara untuk sampel uji SU2 yang memiliki nilai C_u lebih besar dari SU1 dan SU3, ditunjukkan bahwa semakin besar nilai C_u maka semakin besar beban yang dapat bekerja pada sampel uji untuk penetrasi $> 0,25$ inch .

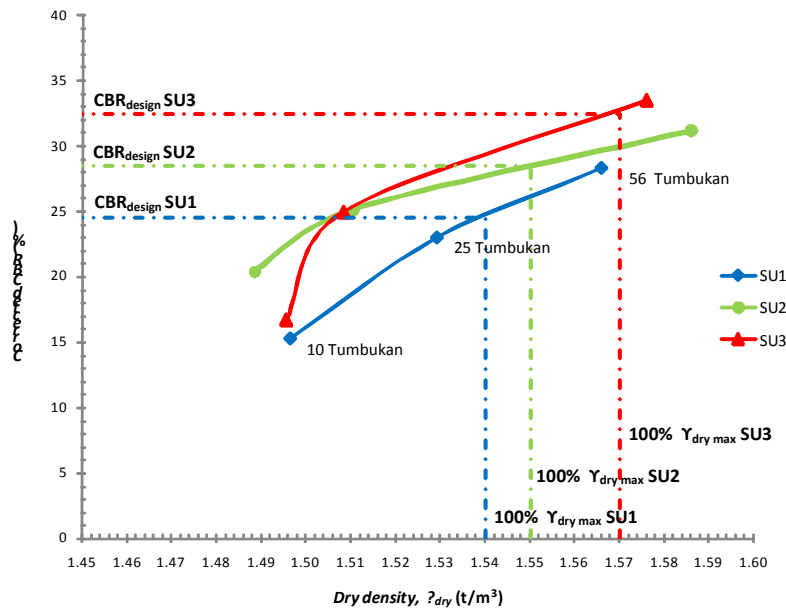
Berdasarkan kurva *load – penetration* pada Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11 tampak bahwa, semakin besar energi pemadatan maka semakin besar pula beban (*load*) yang dapat bekerja pada sampel uji.

Untuk setiap kurva *load – penetration* akan diperoleh nilai *corrected* CBR. Nilai *corrected* CBR untuk ketiga sampel uji tampak pada Tabel 11.

Tabel 11. Nilai *Corrected* CBR Material *Crushed Limestone*

Energi Pemadatan	<i>Corrected</i> CBR (%)		
	SU1	SU2	SU3
10 tumbukan per lapis	15.22	20.39	16.74
25 tumbukan per lapis	22.98	25.11	24.96
56 tumbukan per lapis	28.31	31.20	33.48

Setelah diperoleh nilai *corrected* CBR maka dapat ditentukan nilai CBR *design* untuk ketiga sampel uji SU1, SU2 dan SU3 dengan menggambarkan kurva antara *corrected* CBR dan *dry density*, γ_{dry} seperti tampak pada Gambar 12.



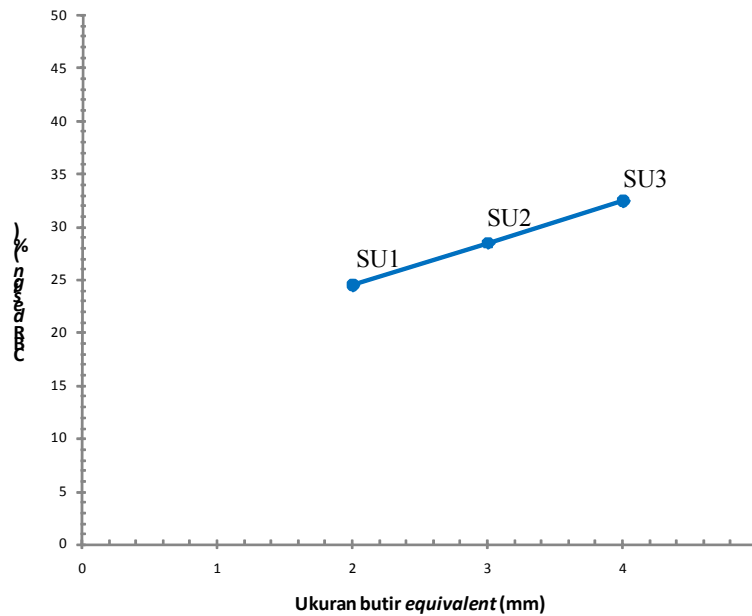
Gambar 12. Kurva *Corrected* CBR – *Dry Density* Material *Crushed Limestone*

Nilai CBR *design* yang digunakan pada studi ini adalah nilai *corrected* CBR yang bersesuaian dengan nilai 100% *maximum dry density*, $\gamma_{dry, max}$ untuk setiap sampel uji. Berdasarkan Gambar 12 tampak bahwa, kurva sampel uji SU3 dengan energi pemadatan 10 tumbukan per lapis tidak mengikuti pola kurva SU1 dan SU2, hal ini diduga bahwa energi ini belum mampu mempengaruhi kepadatan sampel uji SU3.

Nilai CBR *design* untuk ketiga sampel uji dan rasio kenaikan CBR *design* SU2 dn SU3 terhadap CBR *design* SU1 tampak pada Tabel 12. Pengaruh ukuran butir *equivalent* sampel uji SU1, SU2 dan SU3 terhadap nilai CBR *design* tampak pada Gambar 13.

Tabel 12. Nilai CBR *design* Material *Crushed Limestone*

Sampel Uji	Ukuran Butir <i>Equivalent</i>	CBR <i>design</i> (%)	Kenaikan CBR <i>design</i> terhadap CBR <i>design</i> SU1 (%)
SU1	2mm	24.5	-
SU2	3mm	28.5	16.3
SU3	4mm	32.5	32.7



Gambar 13. Kurva Ukuran Butir *Equivalent* terhadap *Maximum Dry Density*, $\gamma_{dry\ max}$ Material *Crushed Limestone*

Tabel 12 menunjukkan bahwa rasio kenaikan nilai CBR *design* SU3 dan SU2 terhadap SU1 berturut-turut adalah 16.3% dan 32.7%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir *equivalent* material *crushed limestone* semakin tinggi nilai CBR *design*.

6 SIMPULAN

Dari hasil studi diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Rasio kenaikan nilai w_{opt} SU3 terhadap SU1 adalah sebesar 20.8%, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir *equivalent material crushed limestone* dengan nilai *coefficient of uniformity*, C_u yang sama maka semakin tinggi nilai *optimum moisture content*, w_{opt} .
2. Rasio kenaikan $\gamma_{dry\ max}$ SU2 dan SU3 terhadap SU1 berturut-turut adalah; 0.6% dan 1.9%, hal ini menunjukkan bahwa peningkatan ukuran butir *equivalent* dari 2mm ke 4mm tidak berpengaruh secara signifikan terhadap parameter *maximum dry density*, $\gamma_{dry\ max}$.
3. Rasio kenaikan nilai CBR *design* SU2 dan SU3 terhadap SU1 berturut-turut adalah 16.3% dan 32.7%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir *equivalent material crushed limestone* maka semakin tinggi nilai CBR *design*.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM C 136-95a, *Standard Test Methods for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, Annual Book of ASTM Standards.
2. ASTM D 1883-99, *Standard Test Methods for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils*, Annual Book of ASTM Standards.
3. ASTM D 2216-98, *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture Content) of Soil and Rock by Mass*, Annual Book of ASTM Standards.
4. ASTM D 2487-00, *Standard Practice for Classification of soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, Annual Book of ASTM Standards.
5. ASTM D 698-00, *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*, Annual Book of ASTM Standards.
6. BS 1377, (1990), *Method of Test for Soils for Civil Engineering Purposes-Part 2: Classification Tests*, BSI.
7. Das, B.M. and Shoban, K, (2014), *Principles of Geotechnical Engineering*, SI, 8th Ed., Cengage Learning, Standford, USA.
8. Head, K.H., (1984), *Manual of Soil Laboratory Testing-Volume 1: Soil Classification and Compaction Tests*, ELE International Ltd., Pentech Press, London.
9. Look, B.G., 2007, *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*, Taylor and Francis, London, UK.
10. Waltham, T., (2009), *Foundation of Engineering Geology*, 3rd Ed., Spon Press, London.

11. XP CEN ISO/TS 17892-3, (2005), *Laboratory Testing of Soil-Part 3: Determination of Particle Density – Pycnometer Method*, French Standardization, Geotechnical Investigation and Testing.
12. Yudianto, B., (2009), *Kajian Pemanfaatan Ruang Kawasan Karst Citatah - Rajamandala untuk Pertambangan dan Industri Pengolahan Kapur di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat*, Jurnal Bahan Galian Industri Vol. 5 No. 13, pp. 15 - 27.