

PENGARUH UKURAN BUTIR TERHADAP WATER ABSORPTION MATERIAL CRUSHED LIMESTONE PADALARANG

Andrias Suhendra Nugraha ⁽¹⁾, Zulhazmi Ardi ⁽²⁾

⁽¹⁾ Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil (S3), Universitas Katolik Parahyangan dan Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha

Email: andrias.snugraha@gmail.com

⁽²⁾ Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha

Email: ardiiezull@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu kriteria desain timbunan pada suatu konstruksi perkerasan jalan adalah parameter kompaksi. Parameter kompaksi yang dimaksud antara lain adalah berat volume kering maksimum, $\gamma_{dry\ max}$ dan kadar air optimum, w_{opt} yang diperoleh dari uji kompaksi material timbunan di laboratorium. Kadar air, w suatu material akan berdampak pada kemampuan (*workability*) material tersebut saat uji kompaksi di laboratorium dilaksanakan. Untuk kondisi dimana kadar air, w material uji melampaui nilai kadar air optimum, w_{opt} , maka terdapat kondisi di mana material uji tidak lagi mempunyai kemampuan menyerap air, sehingga jumlah air yang ditambahkan terhadap material uji tidak dapat secara optimal diserap oleh material uji. Untuk mengantisipasi tidak terjadinya ketidakmampuan material dalam hal menyerap air pada uji kompaksi, maka diperlukan suatu proses uji untuk memberikan informasi tentang kemampuan penyerapan air. Salah satu proses uji tersebut antara lain adalah uji *water absorption* (WA).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh ukuran butir terhadap *water absorption* material *crushed limestone*. Material *crushed limestone* yang digunakan berasal dari daerah Padalarang, Jawa Barat dengan ukuran butir maksimum, $d_{max} = 2,0\text{mm}$ dan $d_{max} = 4,75\text{mm}$. Jenis gradasi dari material uji adalah *poorly graded*. Pengujian *water absorption* mengacu pada standar NF EN 1097-6:2001 (*European Standard*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan ukuran butir maksimum dari $d_{max} 2,0\text{mm}$ ke $4,75\text{mm}$ untuk material *crushed limestone* Padalarang dengan jenis gradasi *poorly graded*, menghasilkan penurunan nilai *water absorption*, WA sebesar 42,65% dan peningkatan kadar air, w maksimum sebesar 40,94%.

Kata kunci: *crushed limestone*, *water absorption*, ukuran butir

ABSTRACT

One of the design criteria of road embankment construction is the compaction parameter. The parameters of the compaction consist of the maximum dry density, $\gamma_{dry\ max}$ and the optimum moisture content, w_{opt} which obtained from the compaction test of the embankment material in the laboratory. The moisture content of a material will affect the workability of the material when the laboratory compaction test is carried out. For conditions where moisture content, w test material exceeds the optimum water content, w_{opt} , then there is a condition in which the test material no longer has the ability to absorb water, so the amount of water added to the test material can not be optimally absorbed by the test material. To anticipate the absence of material inability to absorb water in the compaction test, a test process is required to provide information on water absorption capability. One of the test process is water absorption (WA) test.

The purpose of this research was to analyze the influence of grain size to the water absorption of crushed limestone material. Crushed limestone material used comes from Padalarang, Jawa Barat with maximum grain size, $d_{max} = 2,0\text{mm}$ and $d_{max} = 4.75\text{mm}$. Type of material gradation is poorly graded. Water absorption test refers to NF EN 1097-6:2001 (European Standard).

The results showed that the increase of maximum grain size from 2.0mm d_{max} to 4.75mm for poorly graded crushed limestone material from Padalarang resulted in decrease of water absorption, WA by 42.65% and increased water content, w maximum by 40,94%.

Keywords: *crushed limestone*, *water absorption*, grain size

1. PENDAHULUAN

Salah satu kriteria desain timbunan pada suatu konstruksi perkerasan jalan adalah parameter kompaksi. Parameter kompaksi yang dimaksud antara lain adalah berat volume kering maksimum, $\gamma_{dry\ max}$ dan kadar air optimum, w_{opt} yang diperoleh dari uji kompaksi material timbunan di laboratorium. Uji kompaksi di laboratorium dilakukan dengan cara melakukan variasi kadar air, w terhadap material uji, yang selanjutnya akan diperoleh nilai berat volume kering, γ_{dry} untuk setiap kadar air yang divariasikan tersebut. Hubungan antara berat volume kering, γ_{dry} dan kadar air, w tersebut selanjutnya dinyatakan pada suatu kurva kompaksi. Kurva kompaksi akan memberikan gambaran mengenai pengaruh perubahan kadar air suatu material terhadap nilai berat volume keringnya. Kadar air pun akan memberikan gambaran dari kemampuan (*workability*) material jika terhadapnya akan dilakukan suatu proses kompaksi. Untuk kondisi dimana kadar air material uji melampaui nilai kadar air optimum, w_{opt} , maka terdapat kondisi di mana material uji tidak lagi mempunyai kemampuan menyerap air, sehingga jumlah air yang ditambahkan terhadap material uji tidak dapat secara optimal diserap oleh material uji. Untuk mengantisipasi tidak terjadinya ketidakmampuan material dalam hal menyerap air pada uji kompaksi, maka diperlukan suatu proses uji untuk memberikan informasi tentang kemampuan penyerapan air. Salah satu proses uji tersebut antara lain adalah uji *water absorption* (WA).

Material uji yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *limestone* (batu gamping) yang telah mengalami proses penghancuran (*crushing*) di pabrik, dari material yang semula berukuran *boulders* (> 300mm) menjadi material dengan ukuran butir yang lebih kecil (*crushed limestone*). Material uji *crushed limestone* berasal dari daerah Padalarang, Jawa Barat. Jenis gradasi dari material *crushed limestone* adalah *poorly graded* dengan ukuran butir maksimum, d_{max} yang digunakan adalah 2,0mm dan 4,75mm.

Pada penelitian ini akan dilakukan kajian terhadap pengaruh ukuran butir material *crushed limestone* Padalarang terhadap kemampuan material tersebut dalam menyerap air. Distribusi ukuran butir dan jenis gradasi dari material uji diperoleh dengan cara melakukan uji *sieve analysis* di laboratorium, sementara kemampuan material dalam menyerap air tersebut dinyatakan dengan nilai *water absorption*. Nilai *water absorption* selanjutnya akan dibandingkan dengan kadar air, w tertinggi (maksimum) yang diperoleh dari kurva kompaksi material *crushed limestone*.

2. TUJUAN DAN RUANG LINGKUP PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh ukuran butir terhadap nilai *water absorption* material *crushed limestone* Padalarang.

Ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut:

1. Uji *sieve analysis* mengacu pada standar ASTM D 2487, ASTM C 136, dan BS 1337.
2. Uji *water absorption* mengacu pada standar NF EN 1097-6:2001 (*European Standard*), dengan menggunakan metode Piknometer.
3. Uji kompaksi mengacu pada standar ASTM D 698.
4. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha Bandung.

3. SIEVE ANALYSIS (ANALISIS AYAKAN)

Analisis ayakan adalah proses mengayak dan menggetarkan sampel tanah melalui satu set ayakan dan mesin penggetar, dimana ayakan disusun dengan lubang ayakan besar di atas dan lubang ayakan berukuran kecil di bawah secara berurutan yang bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butir agregat kasar dan halus dengan menggunakan ukuran-ukuran saringan tertentu yang telah distandarkan. Nomor ayakan dan ukuran lubang berdasarkan *U.S. standard sieve size* tampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Nomor Ayakan dan Ukuran Lubang berdasarkan *U.S. Standard*

Ayakan No.	Lubang (mm)
4	4,750
6	3,350
8	2,360
10	2,000
16	1,180
20	0,850
30	0,600
40	0,425
50	0,300
60	0,250
80	0,180
100	0,150
140	0,106
170	0,088
200	0,075
270	0,053

Sumber: Das, 1995

Hasil dari analisis ayakan digambarkan sebagai kurva distribusi ukuran butir. Terdapat tiga parameter dasar yang dapat ditentukan dari kurva distribusi ukuran butir sebagai berikut :

a. Ukuran Efektif (*Effective Size*)

Diameter dalam kurva distribusi ukuran-butiran yang bersesuaian dengan 10% yang lebih halus (lolos ayakan) didefinisikan sebagai ukuran efektif, atau D_{10} .

b. Koefisien Keseragaman (*Uniformity Coefficient*)

Koefisien keseragaman dinyatakan dengan menggunakan Persamaan 1.

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

dimana :

C_u = koefisien keseragaman

D_{60} = diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran

c. Koefisien Gradasi (*Coefficient of Gradation*)

Koefisien gradasi dinyatakan dengan menggunakan Persamaan 2.

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

Dimana :

C_c = koefisien gradasi

D_{30} = diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran

Jenis gradasi dari sampel uji mengacu pada standar ASTM D2487 yang dinyatakan sebagai berikut :

- Gradasi baik (*well graded*), jika :

$C_u \geq 4$ dan $1 \leq C_c \leq 3$; untuk *gravel*

$C_u \geq 6$ dan $1 \leq C_c \leq 3$; untuk *sand*

- Gradasi buruk (*poorly graded*), jika :

$C_u < 4$ dan/atau $1 > C_c > 3$; untuk *gravel*

$C_u < 6$ dan/atau $1 > C_c > 3$; untuk *sand*

4. WATER ABSORPTION

Water absorption, WA adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi SSD, *Saturated Surface Dry* (kering jenuh

permukaan). Parameter-parameter yang dihasilkan dari uji *water absorption* antara lain adalah :

1. *apparent particle density*, ρ_a
2. *particle density on an oven-dried basis*, ρ_{rd}
3. *particle density on a SSD basis*, ρ_{ssd}
4. *water absorption*, WA

Parameter-parameter tersebut di atas dinyatakan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \quad (3)$$

$$\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (4)$$

$$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (5)$$

$$WA = \frac{100.(M_1 - M_4)}{M_4} \quad (6)$$

dimana :

ρ_w = berat jenis air pada temperatur *test*, dalam gr/cm^3 (Tabel 2)

Tabel 2. Berat Jenis Air, ρ_w

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	ρ_w (gr/cm^3)
16	0,99897
17	0,9988
18	0,99862
19	0,99843
20	0,99823
21	0,99802
22	0,99780
23	0,99757
24	0,99733
25	0,99708
26	0,99681
27	0,99654
28	0,99626
29	0,99598
30	0,99568

Sumber: NF EN 1097-6: 2001

M_1 = berat jenuh dan kering permukaan agregat di udara, dalam gram

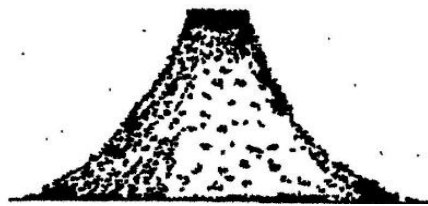
M_2 = berat piknometer berisi sampel jenuh agregat, dalam gram

M_3 = berat piknometer diisi dengan air saja, dalam gram

M_4 = berat kering oven bagian *test* di udara, dalam gram

Untuk mempermudah dalam menentukan kondisi SSD, dapat menggunakan panduan berikut ini :

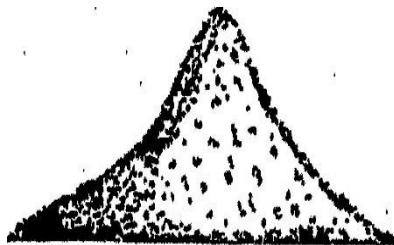
- Agregat *moist* seperti tampak pada Gambar 1, hampir mempertahankan bentuk penuh dari *mold*.



Gambar 1. Agregat Moist

Sumber: NF EN 1097-6:2001

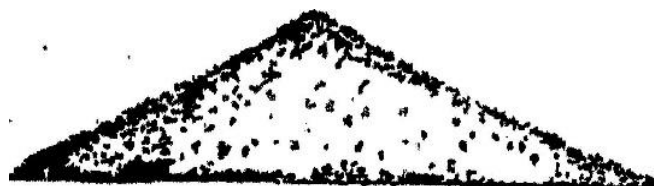
- Agregat *slightly moist* seperti tampak pada Gambar 2, teramati *slump* yang cukup besar.



Gambar 2. Agregat Slightly Moist

Sumber: NF EN 1097-6:2001 (*European Standard*)

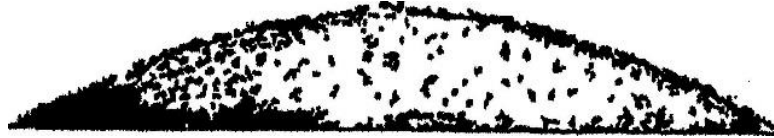
- Agregat *Saturated Surface Dry (SSD)* seperti tampak pada Gambar 3, hampir runtuh tetapi puncak masih terlihat jelas dan lereng bersudut (*angular*).



Gambar 3. Agregat Saturated Surface-Dried (SSD)

Sumber: NF EN 1097-6:2001

- d. Agregat *nearly oven dried*, seperti tampak pada Gambar 4, tidak terdapat puncak yang jelas terlihat dan permukaan garis luar hampir jadi lengkung.



Gambar 4. Agregat *Nearly Oven Dried*
Sumber: NF EN 1097-6:2001

5. HASIL ANALISIS

5.1 Hasil Pengujian Indeks Properti Material *Crushed Limestone*

Indeks properti dari material uji di antaranya adalah nilai G_s , *specific gravity* (berat jenis) dan nilai w , *water content* (kadar air) inisial. Hasil pengujian indeks properti dan penomoran material uji dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Indeks Properti

Asal Material	Nomor Material Uji	<i>Specific Gravity</i> , G_s	<i>Water Content (at initial)</i> , w (%)
Padalarang	SU1	2,68	0,278
	SU3	2,67	0,092

Berdasarkan Tabel 3 ditunjukkan bahwa, nilai G_s untuk SU1 dan SU3 berturut-turut adalah 2,68 dan 2,67, serta nilai w untuk SU1 dan SU3 berturut-turut adalah 0,278% dan 0,092%. Nilai G_s material sesuai dengan *range* nilai G_s material *limestone* yaitu; 2,3 – 2,7 (Edumine, 2016).

5.2 Hasil Pengujian *Sieve Analysis* Material *Crushed Limestone*

Setelah dilakukan pengujian *sieve analysis* yang mengacu pada standar ASTM ASTM D 2487, ASTM C 136, dan BS 1337, akan diperoleh diameter maksimum, d_{max} dan kurva distribusi ukuran butir untuk setiap material uji. Dari kurva distribusi ukuran butir akan diperoleh parameter-parameter antara lain adalah : D_{10} , D_{30} , D_{60} , C_u , (koefisien keseragaman) dan C_c (koefisien gradasi). Selanjutnya dari parameter-parameter tersebut akan diperoleh jenis gradasi.

1. *Sieve Analysis* SU1

Hasil pengujian *sieve analysis* SU1 dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

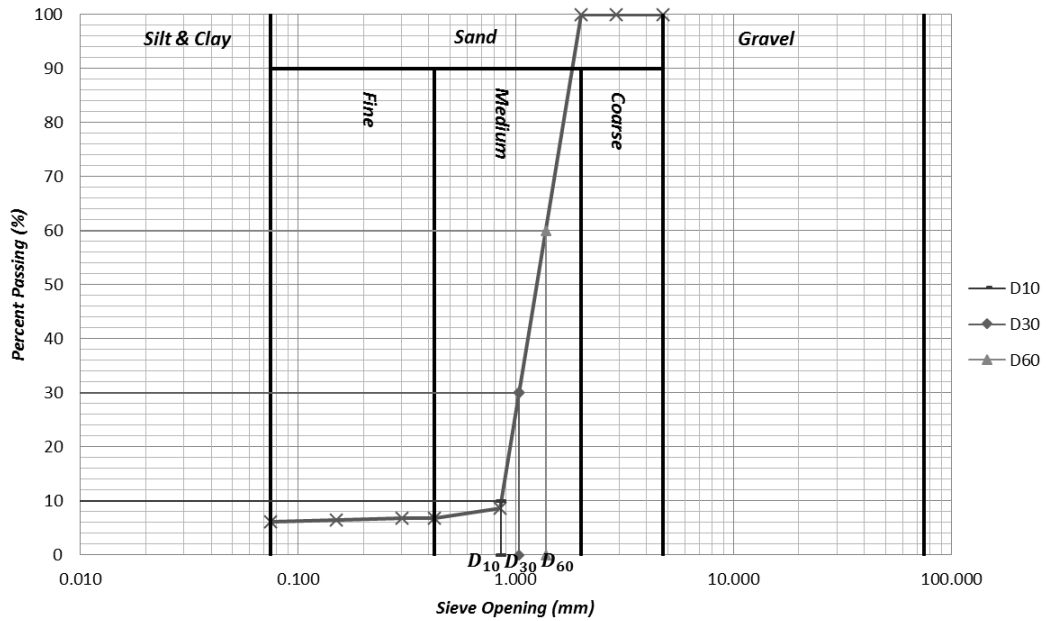
Tabel 4. Hasil Sieve Analysis SU1 Test 1

<i>Sieve No.</i>	<i>W. Container (gr)</i>	<i>W. Container + Sample (gr)</i>	<i>W. Sample (gr)</i>	<i>Sieve Opening (mm)</i>	<i>% Retained</i>	<i>% Cum Retained</i>	<i>% Passing</i>
4	73,00	73,00	0,00	4,75	0,00	0,00	100,00
10	65,50	65,50	0,00	2 (<i>dmax</i>)	0,00	0,00	100,00
20	63,40	615,62	552,22	0,85	91,37	91,37	8,63
40	68,00	79,28	11,28	0,425	1,87	93,23	6,77
50	66,60	66,60	0,00	0,3	0,00	93,23	6,77
100	66,10	68,30	2,20	0,15	0,36	93,60	6,40
200	73,20	74,76	1,56	0,075	0,26	93,86	6,14
PAN	65,50	65,89	0,39	Pan	0,06	93,92	6,08
	Σ	TOTAL	567,65				
		Berat Awal	600,40				
		Berat Akhir	567,65				
		Selisih	36,75				

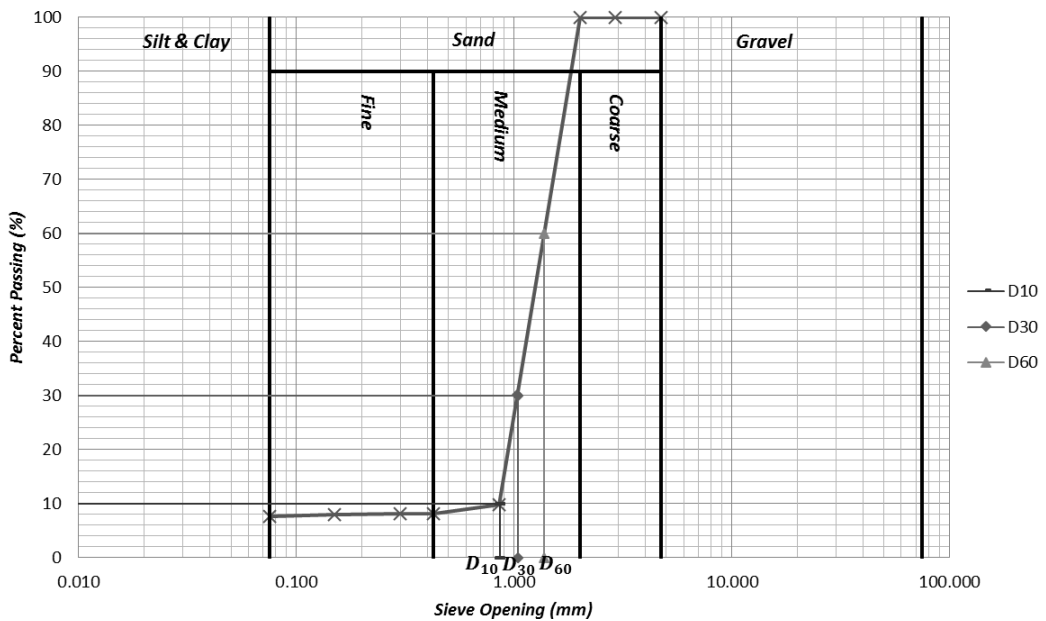
Tabel 5. Hasil Sieve Analysis SU1 Test 2

<i>Sieve No.</i>	<i>W. Container (gr)</i>	<i>W. Container + Sample (gr)</i>	<i>W. Sample (gr)</i>	<i>Sieve Opening (mm)</i>	<i>% Retained</i>	<i>% Cum Retained</i>	<i>% Passing</i>
4	73,00	73,00	0,00	4,75	0,00	0,00	100,00
10	65,50	65,63	0,00	2 (<i>dmax</i>)	0,00	0,00	100,00
20	63,40	605,80	542,40	0,85	90,29	90,29	9,71
40	68,00	77,26	9,26	0,425	1,54	91,84	8,16
50	66,60	66,60	0,00	0,3	0,00	91,84	8,16
100	66,10	67,88	1,78	0,15	0,30	92,13	7,87
200	73,20	74,40	1,20	0,075	0,20	92,33	7,67
PAN	65,50	65,67	0,17	Pan	0,03	92,36	7,64
	Σ	TOTAL	554,81				
		Berat Awal	600,70				
		Berat Akhir	554,81				
		Selisih	45,89				

Penghitungan % *retained* (tertahan) dilakukan dengan cara membagi berat sampel di masing-masing nomor ayakan dengan berat awal sampel sebelum dilakukan proses pencucian (*washing*). Untuk SU1, % *retained* terbesar berada di ayakan No.20, sehingga ukuran butir maksimumnya (*dmax*) adalah 2,0mm. Kurva distribusi ukuran SU1 *Test 1* dan *Test 2* dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Kurva Distribusi Ukuran Butir SU1 Test 1



Gambar 6. Kurva Distribusi Ukuran Butir SU1 Test 2

Dari Gambar 5 didapatkan nilai $D_{10} = 0,861$, $D_{30} = 1,038$, dan $D_{60} = 1,375$, $C_c = 0,91$ dan $C_u = 1,6$. Dari Gambar 6 didapatkan nilai $D_{10} = 0,852$, $D_{30} = 1,030$, dan $D_{60} = 1,369$, $C_c = 0,91$ dan $C_u = 1,6$. Untuk SU1, nilai rata-rata $C_c = 0,91$ dan $C_u = 1,6$, berdasarkan kriteria ASTM D 2487 diperoleh jenis gradasi SU1 adalah *poorly graded*. Ukuran butiran yang dominan pada SU1 memiliki ukuran butir yang sama dengan ukuran butir *medium sand*.

2. Sieve Analysis SU3

Hasil pengujian *sieve analysis* SU3 dapat dilihat di Tabel 6 dan Tabel 7.

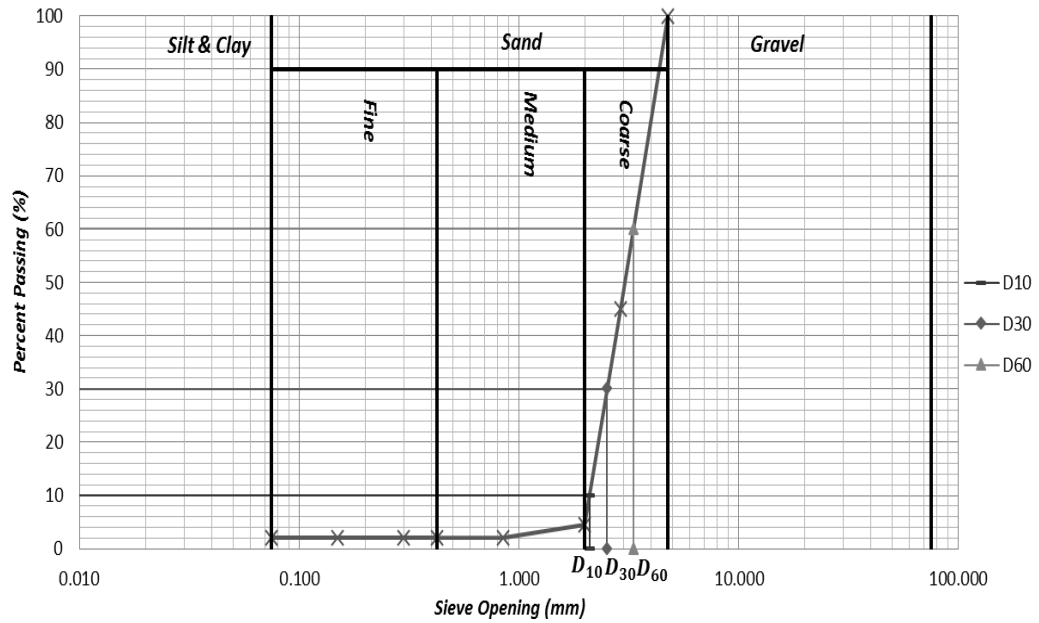
Tabel 6. Hasil Sieve Analysis SU3 Test 1

Sieve No.	W. Container (gr)	W. Container + Sample (gr)	W. Sample (gr)	Sieve Opening (mm)	% Retained	% Cum Retained	% Passing
4	108,26	108,26	0,00	4,75 (<i>dmax</i>)	0,00	0,00	100,00
6	108,26	437,98	329,72	2,9	54,94	54,94	45,06
10	108,26	351,21	242,95	2	40,48	95,99	4,01
20	108,26	122,97	14,71	0,85	2,45	98,48	1,52
40	108,26	108,49	0,23	0,425	0,04	98,52	1,48
50	108,26	108,28	0,02	0,3	0,00	98,52	1,48
100	108,26	108,37	0,11	0,15	0,02	98,54	1,46
200	108,26	108,32	0,06	0,075	0,01	98,55	1,45
PAN	108,26	108,45	0,19	Pan	0,03	98,58	1,42
Σ		TOTAL	587,99				
		Berat Awal	600,20				
		Berat Akhir	587,99				
		Selisih	12,21				

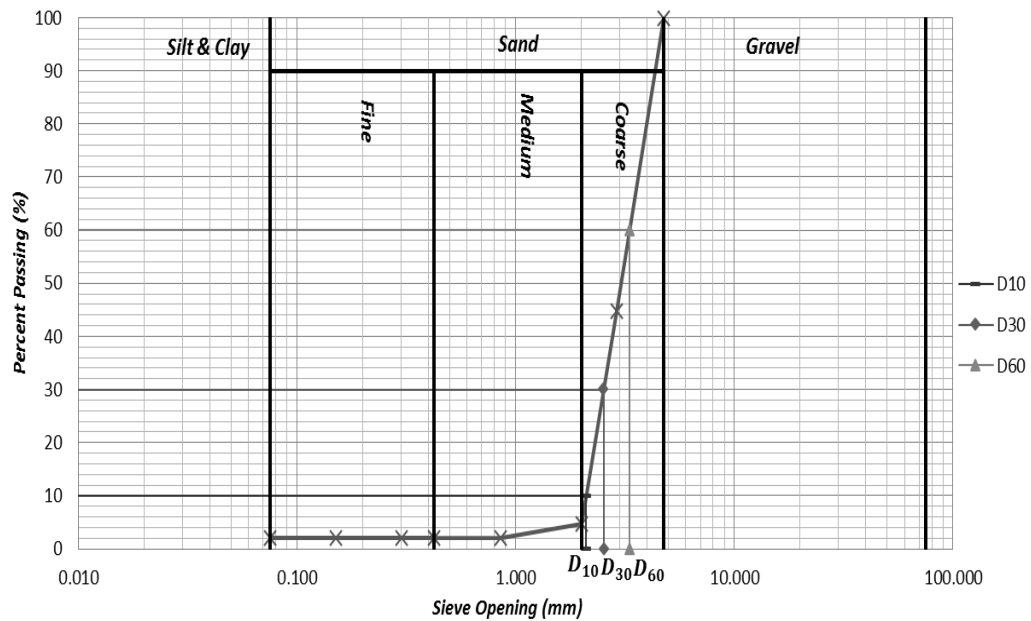
Tabel 7. Hasil Sieve Analysis SU3 Test 2

Sieve No.	W. Container (gr)	W. Container + Sample (gr)	W. Sample (gr)	Sieve Opening (mm)	% Retained	% Cum Retained	% Passing
4	108,26	108,26	0,00	4,75 (<i>dmax</i>)	0,00	0,00	100,00
6	108,26	439,29	329,72	2,9	55,15	55,15	44,85
10	108,26	349,15	242,95	2	40,13	95,29	4,71
20	108,26	123,61	14,71	0,85	2,56	97,85	2,15
40	108,26	108,62	0,23	0,425	0,06	97,91	2,09
50	108,26	108,30	0,02	0,3	0,01	97,91	2,09
100	108,26	108,45	0,11	0,15	0,03	97,94	2,06
200	108,26	108,37	0,06	0,075	0,02	97,96	2,04
PAN	108,26	108,48	0,19	Pan	0,04	98,00	2,00
Σ		TOTAL	588,19				
		Berat Awal	600,20				
		Berat Akhir	588,19				
		Selisih	12,01				

Untuk SU3 ini % *retained* terbanyak berada di ayakan No.6, sehingga ukuran butir maksimumnya (*dmax*) adalah 4,75mm. Kurva distribusi ukuran SU3 *Test 1* dan *Test 2* dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



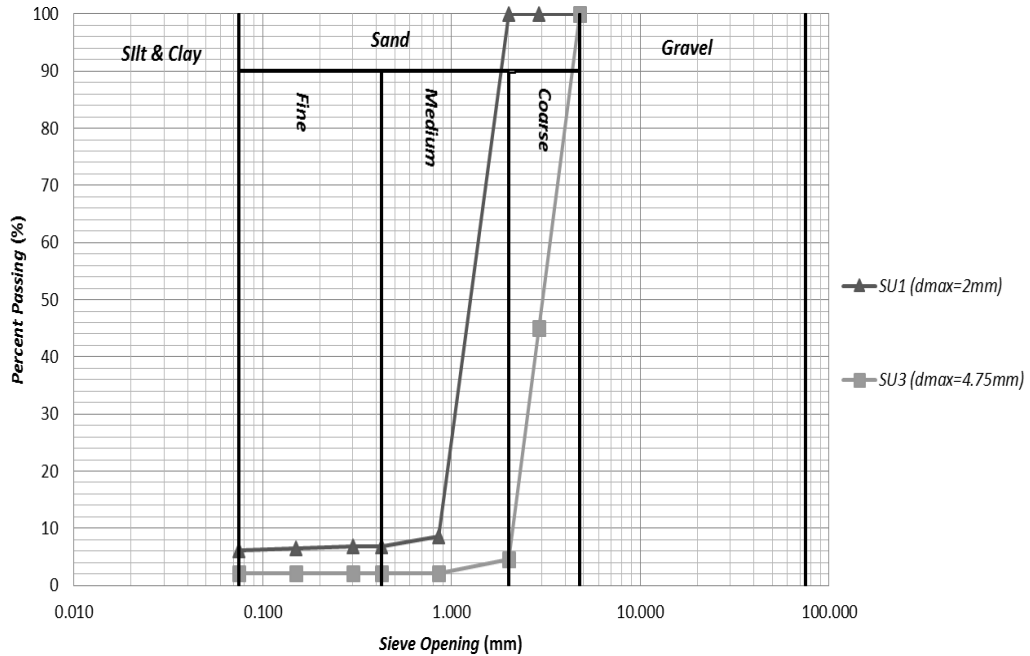
Gambar 7. Kurva Distribusi Ukuran Butir SU3 Test 1



Gambar 8. Kurva Distribusi Ukuran Butir SU3 Test 2

Dari Gambar 7 didapatkan nilai $D_{10} = 2,102$, $D_{30} = 2,525$, $D_{60} = 3,316$, $C_c = 0,91$ dan $C_u = 1,6$. Dari Gambar 8 didapatkan nilai $D_{10} = 2,098$, $D_{30} = 2,516$, $D_{60} = 3,304$, $C_c = 0,91$ dan $C_u = 1,6$. Untuk SU3, nilai rata-ratanya $C_c = 0,91$ dan $C_u = 1,6$, berdasarkan kriteria ASTM D 2487 diperoleh jenis gradasi SU3 adalah *poorly graded*. Ukuran butiran yang dominan pada SU3 memiliki ukuran butir yang sama dengan ukuran butir *coarse sand*.

Kurva distribusi rata-rata SU1 dan SU3 tampak pada Gambar 9, sementara nilai d_{max} , C_c dan C_u rata-rata, serta jenis gradasi SU1 dan SU3 tampak pada Tabel 8.



Gambar 9. Kurva Distribusi Ukuran Butir Rata-rata SU1 dan SU3

Tabel 8. Nilai d_{max} , C_c dan C_u rata-rata serta Jenis Gradasi

Nomor Material Uji	Ukuran Butir Maksimum, d_{max} (mm)	Koefisien Keseragaman, C_c	Koefisien Gradasi, C_u	Jenis Gradasi
SU1	2,0	0,91	1,6	Poorly graded
SU3	4,75	0,91	1,6	Poorly graded

Tabel 8 menunjukkan bahwa hasil pengujian *sieve analysis* untuk SU1 dan SU3 memiliki nilai koefisien keseragaman, C_c , koefisien gradasi, C_u dan jenis gradasi yang sama walaupun ukuran butir maksimum, d_{max} untuk SU1 dan SU3 berbeda.

5.2.1 Hasil Pengujian Water Absorption Material Crushed Limestone

Pengujian *water absorption* material *crushed limestone* mengacu pada standar NF EN 1097-6:2001 dan dilakukan dengan metode piknometer. Dari pengujian ini didapatkan nilai *water absorption*, WA.

1. Water Absorption SU1

Hasil pengujian *water absorption* SU1 dapat dilihat pada Tabel 9, Tabel 10 dan Gambar 10. Uji *water absorption* untuk SU1 untuk Test 1 dan Test 2 menghasilkan nilai WA berturut-turut adalah 1,42% dan 1,30%.

Tabel 9. Hasil Pengujian Water Absorption SU1 Test 1

PARTICLE DENSITY AND WATER ABSORPTION					
Project:				Date	13-15 Sept 2016
Location:				Done by	Zulhazmi
Borehole No:					
Sample No:	SU1 TEST1	dmax = 2mm			
Depth:	1,00 - 5,00 m			Standard	NF EN 1097-6
Description:	Crushed Limestone				Picnometer Method
Fraction	New Size Fraction	% Size Friction	Condition	Weight (g)	Density (gr/cm3)
	0,075 mm - 4,75mm		Crushed	604.40	
Mass of the saturated and surface dried test portion, M1				576.60	
Mass of picnometer + fraction + water, M2				1012.30	
Temperature of water when M2 determined		24.4			
Mass of picnometer + water, M3				657.34	
Temperature of water when M3 determined		24.4			
Mass of the oven-dried test portion, M4				568.55	
Density of water at the temp. recorded when M2 determined, ρ_w					0.9972
Apparent particle density $\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$					2.65
Particle density on an oven-dried basis, $\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$					2.56
Particle density on a saturated and surface-dried basis, $\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$					2.59
Water absorption after immersion for 24 h, $WA = \frac{100(M_1 - M_4)}{M_4}$					1.42%

Tabel 10. Hasil Pengujian Water Absorption SU1 Test 2

PARTICLE DENSITY AND WATER ABSORPTION					
Project:				Date	15-17 Sept 2016
Location:				Done by	Zulhazmi
Borehole No:					
Sample No:	SU1 TEST 2	dmax = 2mm			
Depth:	1,00 - 5,00 m			Standard	NF EN 1097-6
Description:	Crushed Limestone				Picnometer Method
Fraction	New Size Fraction	% Size Friction	Condition	Weight (g)	Density (gr/cm3)
	0,075 mm - 4,75mm		Crushed	600.70	
Mass of the saturated and surface dried test portion, M1				562.20	
Mass of picnometer + fraction + water, M2				1004.70	
Temperature of water when M2 determined		24.4			
Mass of picnometer + water, M3				657.34	
Temperature of water when M3 determined		24.4			
Mass of the oven-dried test portion, M4				555.00	
Density of water at the temp. recorded when M2 determined, ρ_w					0.9972
Apparent particle density $\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$					2.67
Particle density on an oven-dried basis, $\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$					2.58
Particle density on a saturated and surface-dried basis, $\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$					2.61
Water absorption after immersion for 24 h, $WA = \frac{100(M_1 - M_4)}{M_4}$					1.30%

2. Water Absorption SU3

Hasil pengujian *water absorption* SU3 dapat dilihat pada Tabel 11, Tabel 12 dan Gambar 11. Uji *water absorption* untuk SU3 untuk *Test 1* dan *Test 2* menghasilkan nilai WA berturut-turut adalah 0,79% dan 0,76%.



(a)



(b)

Gambar 10. Kondisi *Saturated Surface-Dried*, SSD untuk SU1 (a) Test 1 (b) Test 2



(a)



(b)

Gambar 11. Kondisi *Saturated Surface-Dried*, SSD untuk SU3 (a) Test 1 (b) Test 2

Tabel 11. Hasil Pengujian *Water Absorption* SU3 Test 1

PARTICLE DENSITY AND WATER ABSORPTION					
Project:				Date	23-25 Sept 2016
Location:				Done by	Zulhazmi
Borehole No:					
Sample No:	SU3 TEST 1 dmax = 4,75mm			Standard	NF EN 1097-6
Depth:	1,00 - 5,00 m			Picnometer Method	
Description:	Crushed Limestone			Weight (g)	Density (gr/cm ³)
Fraction	New Size Fraction	% Size Friction	Condition	600.20	
	0,075 mm - 4,75mm		Crushed		
Mass of the saturated and surface dried test portion, M1				596.40	
Mass of picnometer + fraction + water, M2				1029.20	
Temperature of water when M2 determined		24.5			
Mass of picnometer + water, M3				657.32	
Temperature of water when M3 determined		24.5			
Mass of the oven-dried test portion, M4				591.70	
Density of water at the temp. recorded when M2 determined, pw					0.9972
Apparent particle density $\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$					2.68
Particle density on an oven-dried basis, $\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$					2.63
Particle density on a saturated and surface-dried basis, $\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$					2.65
Water absorption after immersion for 24 h, $WA = \frac{100(M_1 - M_4)}{M_4}$					0.79%

Tabel 12. Hasil Pengujian Water Absorption SU3 Test 2

PARTICLE DENSITY AND WATER ABSORPTION					
Project:				Date	24-26 Sept 2016
Location:				Done by	Zulhazmi
Borehole No:					
Sample No:	SU3 TEST 2 dmax = 4,75mm				
Depth:	1,00 - 5,00 m			Standard	NF EN 1097-6
Description:	Crushed Limestone			Picnometer Method	
Fraction	New Size Fraction	% Size Friction	Condition	Weight (g)	Density (gr/cm3)
	0,075 mm - 4,75mm		Crushed	600.20	
Mass of the saturated and surface dried test portion, M1				592.80	
Mass of picnometer + fraction + water, M2				1028.50	
Temperature of water when M2 determined				24.5	
Mass of picnometer + water, M3				657.32	
Temperature of water when M3 determined				24.5	
Mass of the oven-dried test portion, M4				588.30	
Density of water at the temp. recorded when M2 determined, pw				0.9972	
Apparent particle density $\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$				2.70	
Particle density on an oven-dried basis, $\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$				2.65	
Particle density on a saturated and surface-dried basis, $\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$				2.67	
Water absorption after immersion for 24 h, $WA = \frac{100(M_1 - M_4)}{M_4}$				0.76%	

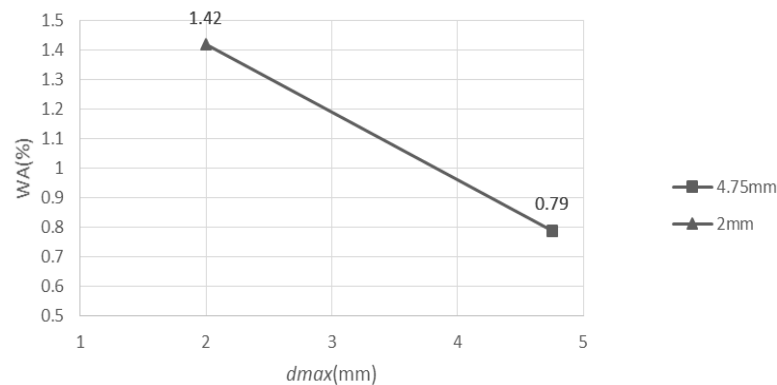
Nilai water absorption, WA rata-rata untuk SU1 dan SU3 tampak pada Tabel 13.

Tabel 13. Nilai Water Absorption, WA

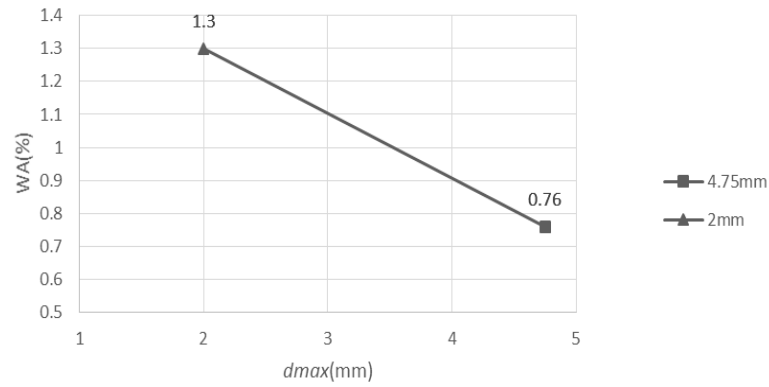
Nomor Material Uji	Water Absorption, WA (%)		
	Test 1	Test 2	Rata-rata
SU1	1,42	1,3	1,36
SU3	0,79	0,76	0,78

5.2.2 Analisis Ukuran Butir Maksimum, d_{max} terhadap Water Absorption Material Crushed Limestone

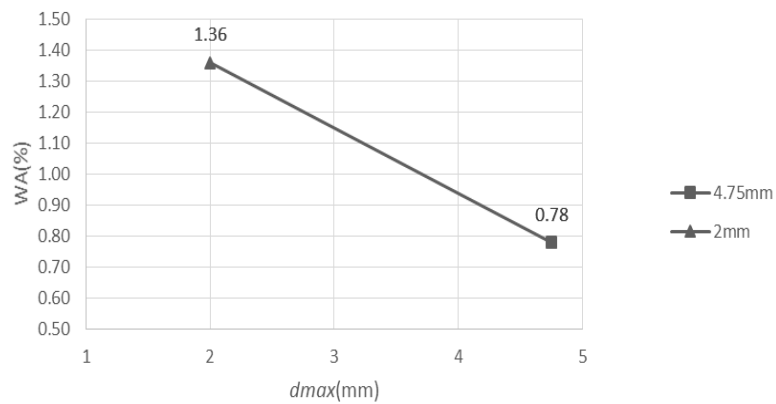
Kurva hubungan antara ukuran butir maksimum, d_{max} dan water absorption, WA untuk SU1 ($d_{max} = 2,0\text{mm}$) dan SU3 ($d_{max} = 4.75\text{mm}$) tampak pada Gambar 12 hingga Gambar 14.



Gambar 12. Kurva d_{max} dan WA (Test 1) untuk SU1 dan SU3

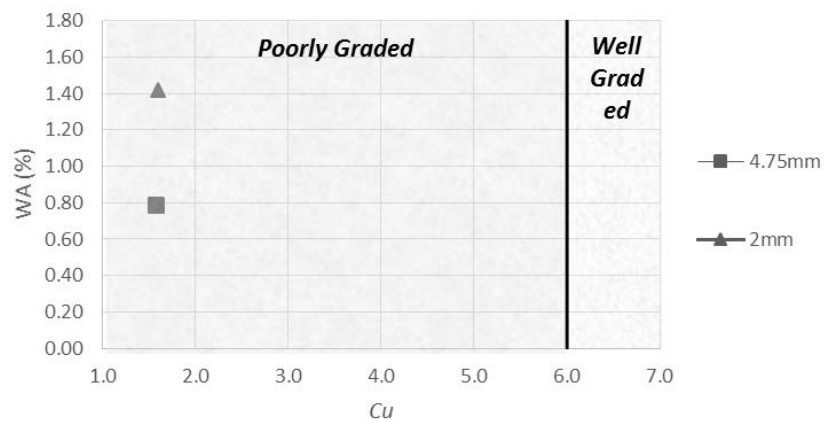


Gambar 13. Kurva d_{max} dan WA (Test 2) untuk SU1 dan SU3

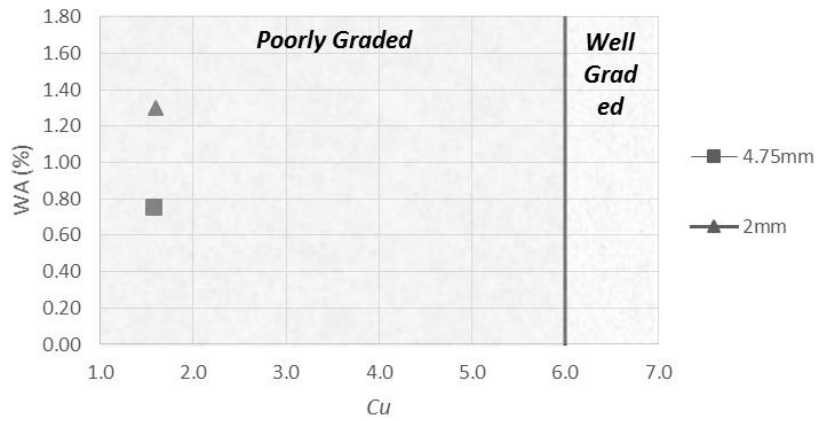


Gambar 14. Kurva d_{max} dan WA Rata-rata untuk SU1 dan SU3

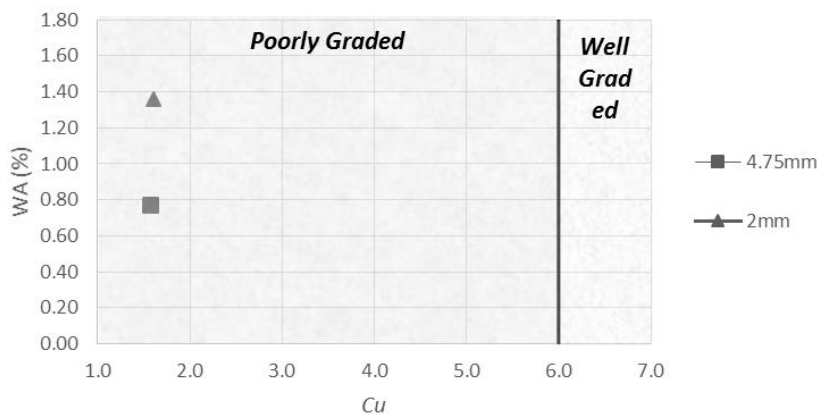
Kurva hubungan antara koefisien keseragaman, C_u dan *water absorption*, WA untuk SU1 ($d_{max} = 2,0\text{mm}$) dan SU3 ($d_{max} = 4.75\text{mm}$) tampak pada Gambar 15 hingga Gambar 17.



Gambar 15. Kurva C_u dan WA (Test 1)

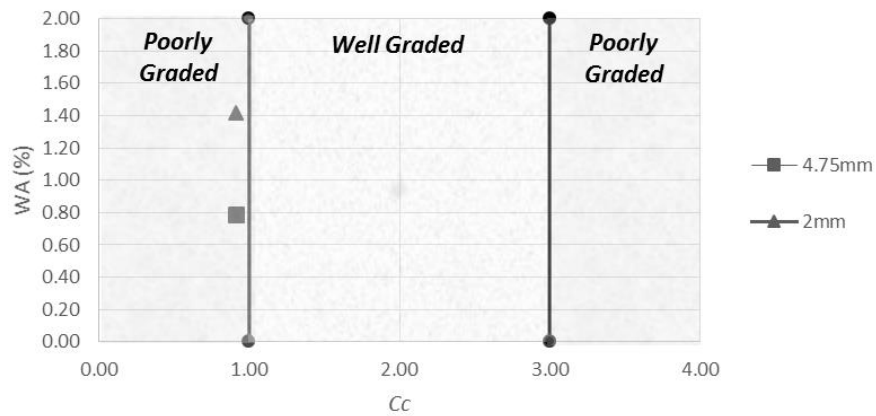


Gambar 16. Kurva C_u dan WA (Test 2)

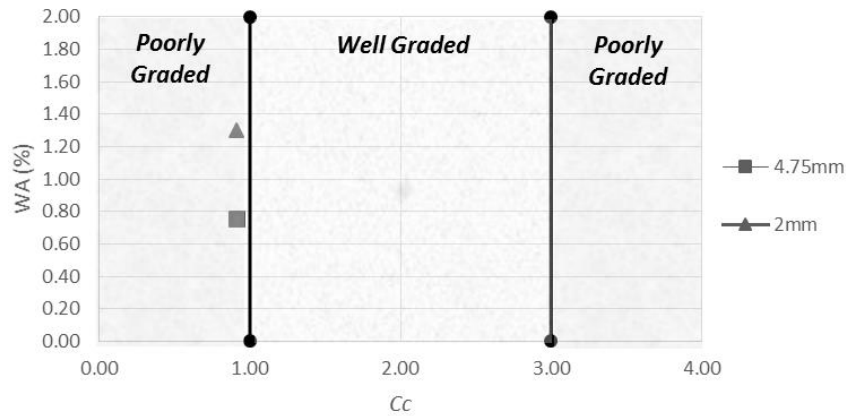


Gambar 17. Kurva C_u dan WA (Average)

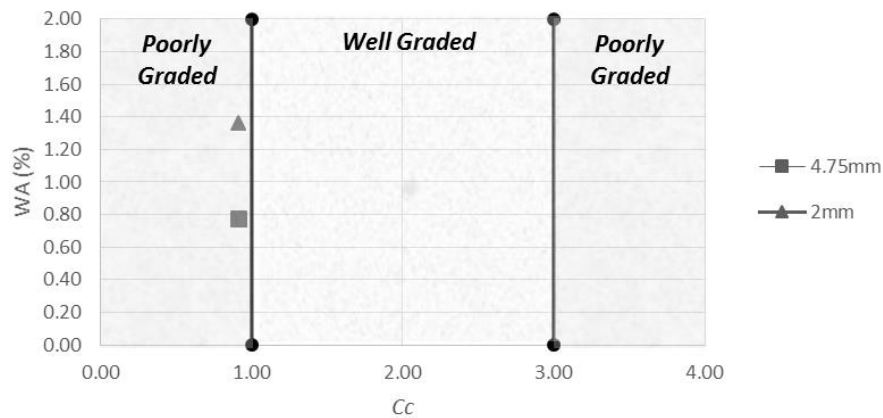
Kurva hubungan antara koefisien gradasi, C_c dan *water absorption*, WA untuk SU1 ($d_{max} = 2,0\text{mm}$) dan SU3 ($d_{max} = 4.75\text{mm}$) tampak pada Gambar 18 hingga Gambar 20.



Gambar 18. Kurva C_c dan WA (Test 1)



Gambar 19. Kurva C_c dan WA (Test 2)



Gambar 20. Kurva C_c dan WA (Average)

Nilai parameter-parameter yang diperoleh dari hasil uji *sieve analysis*, uji *water absorption* dan selisih nilai WA tampak pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Uji *Sieve Analysis* dan *Water Absorption*

Nomor Material Uji	Ukuran Butir Maksimum, d_{max} (mm)	Koefisien Keseragaman, C_u	Koefisien Gradasi, C_c	Jenis Gradasi	Water Absorption, WA (%)	Selisih Nilai WA terhadap Nilai WA SU1 (%)
SU1	2,0	1,6	0,91	<i>Poorly Graded</i>	1,36	-
SU3	4,75	1,6	0,91	<i>Poorly Graded</i>	0,78	42,65

Hasil kajian terhadap kurva d_{max} dan WA (Gambar 14), kurva C_u dan WA (Gambar 17), kurva C_c dan WA (Gambar 20) serta Tabel 14, menunjukkan bahwa kenaikan ukuran butir maksimum, $d_{max} = 2\text{mm}$ ke $d_{max} = 4,75\text{mm}$ untuk material *crushed limestone* Padalarang dengan jenis gradasi *poorly graded*, menyebabkan

penurunan nilai *water absorption*, WA sebesar 42,65%. Dengan kata lain bahwa semakin meningkat nilai *dmax* maka nilai WA semakin menurun.

5.2.3 Analisis Hubungan Nilai Kadar Air, *w* Tertinggi (Maksimum) dan *Water Absorption*, WA

Uji kompaksi di laboratorium untuk material *crushed limestone* Padalarang mengacu pada standar ASTM 698 dengan metoda uji *Standard Proctor*. Uji kompaksi akan menghasilkan kurva kompaksi yaitu kurva antara berat volume kering maksimum, γ_{dry} dan kadar air, *w*. Kurva kompaksi tersebut akan menghasilkan parameter kompaksi yaitu berat volume kering maksimum, $\gamma_{dry\ max}$ dan kadar air optimum, w_{opt} .

Untuk kondisi kadar air, *w* yang telah melewati kadar air optimum, w_{opt} terdapat kondisi di mana material uji tidak lagi mempunyai kemampuan untuk menyerap air, sehingga jumlah air yang ditambahkan terhadap material uji tersebut tidak secara optimal diserap oleh material uji. Nilai kadar air material uji untuk kondisi tersebut selanjutnya disebut nilai kadar air, *w* tertinggi (maksimum). Analisis hubungan antara nilai kadar air maksimum dan nilai *water absorption*, WA dilakukan untuk mengetahui kondisi batas dimana material uji masih memiliki kemampuan untuk menyerap air jika pada material uji tersebut akan diberlakukan proses kompaksi.

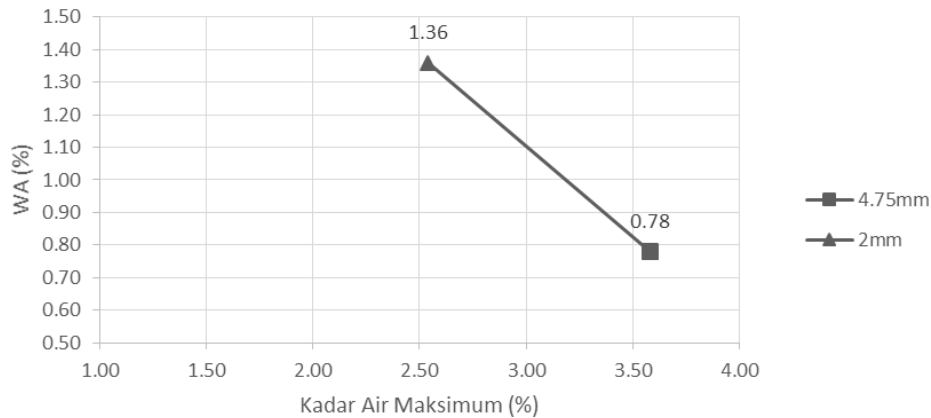
Nilai berat volume kering maksimum, $\gamma_{dry\ max}$, kadar air optimum, w_{opt} , kadar air maksimum dan *water absorption*, WA untuk material SU1 dan SU3 pada Tabel 15.

Tabel 15. Nilai $\gamma_{dry\ max}$, w_{opt} , Kadar Air Maksimum dan WA

Nomor Material Uji	Ukuran Butir Maksimum, <i>dmax</i> (mm)	Berat Volume Kering Maksimum, $\gamma_{dry\ max}$ (t/m ³)	Kadar Air Optimum, w_{opt} (%)	<i>Water Absorption</i> , WA (%)	Kadar Air, <i>w</i> Maksimum (%)	Selisih nilai Kadar Air Maksimum SU3 terhadap SU1 (%)
SU1	2,0	1,54*	1,21*	1,36	2,54	-
SU3	4,75	1,57 [#]	0,64 [#]	0,78	3,58	40,94

Ket. : *R. Febiferdiansa (2016), [#]J.D. Fahlevi (2015)

Kurva hubungan antara nilai kadar air maksimum dan nilai *water absorption*, WA untuk material SU1 (*dmax* = 2,0mm) dan SU3 (*dmax* = 4,75mm) tampak pada Gambar 21.



Gambar 19. Kurva Kadar Air Maksimum dan Water Absorption, WA

Hasil kajian terhadap Tabel 15 dan Gambar 21, menunjukkan bahwa kenaikan ukuran butir maksimum, $d_{max} = 2\text{mm}$ ke $d_{max} = 4,75\text{mm}$ untuk material *crushed limestone* Padalarang dengan jenis gradasi *poorly graded*, menyebabkan peningkatan nilai kadar air maksimum sebesar 40,94%. Peningkatan nilai kadar air maksimum ini akan mengakibatkan penurunan nilai *water absorption*, WA material *crushed limestone*.

6. SIMPULAN

Simpulan dari penelitian antara lain adalah :

1. Kenaikan ukuran butir maksimum, $d_{max} = 2\text{mm}$ ke $d_{max} = 4,75\text{mm}$ untuk material *crushed limestone* Padalarang dengan jenis gradasi *poorly graded*, menyebabkan penurunan nilai *water absorption*, WA sebesar 42,65%.
2. Kenaikan ukuran butir maksimum, $d_{max} = 2\text{mm}$ ke $d_{max} = 4,75\text{mm}$ untuk material *crushed limestone* Padalarang dengan jenis gradasi *poorly graded*, menyebabkan peningkatan nilai kadar air maksimum sebesar 40,94%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Artika, A.R., 2016, *Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Koefisien Permeabilitas Material Crushed Limestone*, Skripsi Strata 1 pada Program Studi Teknik Sipil, UKM Bandung
2. ASTM D 2487, 2006, *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, American Association of State Highway and Transportation
3. Das, B.M., 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta

4. Fahlevi, J.D., 2015, *Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Parameter Kompaksi Material Crushed Limestone*, Skripsi Strata 1 pada Program Studi Teknik Sipil, UKM Bandung
5. Febiferdiansa, R, 2016, *Pengaruh Siklus Kompaksi Terhadap Parameter Kompaksi Material Crushed Limestone*, Skripsi Strata 1 pada Program Studi Teknik Sipil, UKM Bandung
6. Haryadi, 2000, *Bahan Galian Industri: Batu Kapur*, Jurnal Departemen Pertambangan Indonesia
7. Hasria, *et al.*, 2012, *Karakterisasi Sifat Fisika Batu Kapur Di Desa Labaha Kecamatan Watopute Kabupaten Muna*, Jurnal Aplikasi Fisika, Universitas Haluoleo, Vol. 8, No. 2
8. NF EN 1097-6 (European Standard), 2001, *Tests For Mechanical And Physical Properties Of Aggregates*, Afnor, French
9. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, 2005, *Ulasan Batu Kapur*
10. Roberts, *et al.*, 1996, *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design And Construction 2nd Edition*, NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Maryland