

**LAPORAN
PENELITIAN DOSEN**



**Penambahan *Portland Cement* Terhadap Perilaku
Pelapukan Ulang *Clay Shale* Hambalang**

Tim Peneliti

Ketua : DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

NIDN : 0316016101

Anggota : Ir. Wawan Kuswaya M.Sc

NIDN : 0325075903

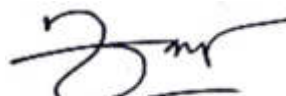
Panji Gunawan NPM 16540002

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
2019**

PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

- | | | | |
|---|-----------------------|---|---|
| 1 | Judul Penelitian | : | Penambahan <i>Portland Cement</i> Terhadap Perilaku Pelapukan Ulang <i>Clay Shale</i> Hambalang |
| 2 | Ketua Peneliti | : | |
| | a. Nama Lengkap | : | DR.Ir. Idrus M. Alatas M.Sc |
| | b. Jenis Kelamin | : | Laki-laki |
| | c. NIP | : | 11860032 |
| | d. Disiplin ilmu | : | Geoteknik (Teknik Sipil) |
| | e. Pangkat/Golongan | : | Lektor /III d |
| | f. Jabatan | : | Dosen |
| | g. Fakultas/Prodi | : | Teknik Sipil dan Perencanaan / Teknik Sipil |
| | h. Alamat | : | Jl. Moh. Kahfi II, Srengseng Sawah Jak-Sel. |
| | i. Telpon/Faks/E-mail | : | 0218410387/hb_idrus@yahoo.com |
| 3 | Anggota Peneliti | : | Ir. Wawan Kuswaya MT
Panji Gunawan ST |
| 4 | Lokasi Penelitian | : | Hambalang, Jawa Barat dan Lab. Mektan ISTN Jakarta |
| 5 | Jumlah biaya | : | 25.500.000,- |

Jakarta, Februari 2019
Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Sipil


Ir. Nasir Djalili, MT



Menyetujui,
Ketua LP2M – ISTN

Ketua Peneliti



DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc



DR. Ir. Syamsul Elyumin MSc

Tanggal	:	05/09/2019
No. Inventaris	:	
Kode Eksemplar	:	
No. Panggil	:	
Sumber	:	
Lokasi	:	
Paraf	:	



DAFTAR ISI

	Isi	Halaman
	Daftar isi	i
	Kata Pengantar	iv
	DAFTAR GAMBAR	vi
	DAFTAR TABEL	xi
	ABSTRAK	xii
BAB 1	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang Penelitian	2
1.2	Pernyataan Masalah	4
1.3	Tujuan dan Objektif Penelitian	5
1.4	Lingkup Penelitian	6
1.5	Kepentingan Penelitian	7
1.6	Susunan Pelaporan Penelitian	7
BAB 2	STUDI LITERATUR	9
2.1	Pendahuluan	9
2.2	Perilaku Clay Shale	10
2.2.1	Perubahan Fisik Clay Shale	10
2.2.2	Perubahan Sifat Fisik Clay Shale Akibat Proses Pelapukan	15
2.2.3	Perubahan Sifat Fisik Akibat Proses Masa Pengeringan	16
2.2.4	Perubahan Sifat Fisik Akibat Siklus Pembasahan dan Pengeringan	18
2.2.5	Perubahan Ratio Disintegritas (DR) Akibat Proses Masa Pengeringan	20

2.2.6	Perubahan Ratio Disintegritas (D_R) Akibat Siklus Pembasahan Pengeringan	21
2.2.7	Pengaruh Jenis Mineral Clay Shale Terhadap Ratio Disintegritas (D_R)	25
2.2.8	Pelapukan Ulang Clay Shale	28
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1	Pendahuluan	29
3.2	Persiapan Sampel Uji	31
3.3	Jadwal Pembasahan dan Pengeringan	32
3.4	Penelitian Geologi	33
3.5	Mineralogi dan Scanning Mikroskopik Electron (SEM)	34
3.6	Hasil Uji Pematatan Clay Shale Lapuk Dengan Penambahan Prosentase Portland Cement	36
BAB 4	HASIL PELAPUKAN ULANG CLAY SHALE HAMBALANG	40
4.1	Pendahuluan	40
4.2	Pengamatan Perubahan Pelapukan Akibat Siklus Pembasahan dan Pengeringan	40
4.3	Perubahan Gradasi Clay Shale Hambalang Pada Pelapukan Ulang Tanpa Portland Cement	47
4.4	Penurunan Rasio Disintegritas (D_R) Clay Shale Hambalang Lapuk Yang Dipadatkan Ulang Tanpa Portland Cement	52
4.5	Perubahan Gradasi Clay Shale Hambalang Pada Pelapukan Ulang Dengan 3% Portland Cement	53
4.6	Penurunan Rasio Disintegritas (D_R) Clay Shale Hambalang Lapuk Yang Dipadatkan Ulang Dengan 3% Portland Cement	58
4.7	Perubahan Gradasi Clay Shale Hambalang Pada Pelapukan Ulang Dengan 6% Portland Cement	59

4.8	Penurunan Rasio Disintegritas (D_R) Clay Shale Hambalang Lapuk Yang Dipadatkan Ulang Dengan 6% Portland Cement	64
4.9	Perubahan Gradasi Clay Shale Hambalang Pada Pelapukan Ulang Dengan 9% Portland Cement	65
4.10	Penurunan Rasio Disintegritas (D_R) Clay Shale Hambalang Lapuk Yang Dipadatkan Ulang Dengan 9% Portland Cement	70
4.11	Perubahan Gradasi Clay Shale Hambalang Pada Pelapukan Ulang Dengan 12% Portland Cement	71
4.12	Penurunan Rasio Disintegritas (D_R) Clay Shale Hambalang Lapuk Yang Dipadatkan Ulang Dengan 12% Portland Cement	76
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1	Kesimpulan	78
5.2	Saran	81
	Referensi	82
	Lampiran	85

KATA PENGANTAR

Dengan mewujudkan rasa syukur kepada Allah swt, alhamdulillah penelitian ini yang berjudul **“Penambahan *Portland Cement* Terhadap Perilaku Pelapukan Ulang *Clay Shale Hambalang*”** selesai kami kerjakan dan di susun dalam laporan penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari seri penelitian yang menyangkut penelitian tentang clay shale yang sedang kami intensifkan untuk diteliti. Kami bersyukur bahwa ini dalam penelitian ini didapat suatu yang sangat bermanfaat dalam melanjutkan seri penelitian clay shale selanjutnya,

Kami ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terus menerus mensupport kami dalam hal penelitian ini. Terutama kepada rekan kerja kami yang mendukung dan sangat membantu dalam mensukseskan penelitian ini.

Kami sadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, namun adalah suatu titik awal yang sangat baik untuk mengembangkannya dimasa depan. Untuk itu mau berharap masukannya dari rekan rekan seprofesi untuk menyumbang saran agar dapat menyempurnakan penelitian ini berkembang dimasa depan.

Semogan Allah swt selalu memberikan kekuatan kepada kita semua untuk terus menjalankan penelitian yang bermanfaat untuk perkembangan teknologi dimasa depan.

Peneliti

DR Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

Ir. Wawan Kuswaya MT

DAFTAR GAMBAR

Gambar No	JUDUL GAMBAR	Hal
Gambar 1.1	Kegagalan badan nalan apabila permukaan clay shale terbuka setelah dilakukan pemotongan lereng (Alatas, 2012)	3
Gambar 1.2	Keruntuhan lereng yang terus menerus terjadi apabila bidang keruntuhan telah terbentuk pada masa lalu (Irsyam <i>et al.</i> , 2011)	3
Gambar 1.3	Gambar 1.3 Perubahan bentuk fisik clay shale dari masa ke masa (Irsyam <i>et al.</i> , 2011)	4
Gambar 1.4	Lokasi Pusat Pendidikan Olah Raga Hambalang, Sentul, Jawa Barat (Geoinves, 2010)	6
Gambar 2.1	Perilaku lempung-batuan dasar di lapangan (Nandi dan Shakoor, 2008)	11
Gambar 2.2	Ilustrasi perubahan batu lempung terhadap masa akibat proses pelapukan (Sadisun <i>et al.</i> , 2010)	11
Gambar 2.3	Distribusi ukuran butiran sampel yang hancur di laboratorium terhadap empat jenis lempung batuan dasar (Shakoor dan Tej, 2011)	12
Gambar 2.4	Indeks ketahananlasakan dari clay shale dibandingkan dengan batu lempung, batu lumpur dan batu lanau (Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015)	13
Gambar 2.5	Perubahan fisik clay shale dan lainnya akibat pelapukan (Shakoor dan Tej, 2011)	13

Gambar 2.6	Perubahan distribusi ukuran butiran akibat sampel yang hancur (<i>slake</i>) setelah 1, 3, 6, dan 9 bulan (Shakoor dan Tej, 2011)	14
Gambar 2.7	Perubahan sifat fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang terhadap proses pengeringan dan siklus pembasahan pengeringan, Alatas I.M.,(2017).	16
Gambar 2.8	Perubahan butiran clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang akibat proses pengeringan hingga 80 hari, Alatas I.M.,(2017).	17
Gambar 2.9	Perubahan distribusi ukuran butiran clay shale akibat proses pengeringan clay shale Hambalang (Alatas I.M., 2017)	17
Gambar 2.10	Disintegritas sampel batuan lempung, setelah pendedahan iklim mula-mula (Shakoor dan Gautam, 2015)	19
Gambar 2.11	Perubahan bentuk fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang akibat siklus pembasahana pengeringan dengan 2 kali pembasahan setiap 8 hari Alatas I.M.,(2017).	16
Gambar 2.12	Perubahan distribusi distribusi ukuran butiran clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari, (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari. Alatas I.M.,(2017).	20
Gambar 2.13	Perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat proses masa pengeringan clay shale Hambalang, Alatas I.M.,(2017).	21
Gambar 2.14	Perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat masa pengeringan dan masa siklus pembasahan pengeringan clay shale Hambalang, Alatas I.M.,(2017)	22
Gambar 2.15	Ilustrasi dari pelapukan pertama (a) hingga melapuk semuanya (b), dan dilanjutkan dengan pemadatan dan	28

	pengujian pengaruh pelapukan kedua dengan rasio disintegritas (D_R)	
Gambar 3.1	Diagram alir kerja penelitian pelapukan ulang clay shale	30
Gambar 3.2	Sebanyak 15 uji visual sampel di hari pertama untuk diuji perubahan gradasi akibat proses siklus pembasahan dan pemeringan selama 41 hari	32
Gambar 3.3	Keadaan <i>Physiographic</i> Regional Pulau Jawa dan Madura (Van Bemmelen, 1970)	34
Gambar 3.4	Peta geologi Hambalang, Jawa Barat dan sekitarnya (Effendi A, 1974; Thanden <i>et al.</i> , 1996)	34
Gambar 3.5	Hasil ujian mineralogi clay shale Hambalang dengan XRD (LEMIGAS, 2015)	35
Gambar 3.6	Hasil scanning elektro magnetic (SEM) clay shale Hambalang dengan pembesaran 1,800X dan 2,200X (LEMIGAS, 2015)	36
Gambar 3.7	Hasil pemadatan clay shale Hambalang lapuk dengan 0% PC	37
Gambar 3.8	Hasil pemadatan clay shale lapuk Hambalang dengan 3% PC	37
Gambar 3.9	Hasil pemadatan clay shale Hambalang lapuk dengan 6% PC	38
Gambar 3.10	Hasil pemadatan clay shale Hambalang lapuk dengan 9% PC	38
Gambar 3.11	Hasil pemadatan clay shale Hambalang lapuk dengan 12% PC	30
Gambar 4.1	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC dalam ruang pengeringan	41
Gambar 4.2	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 4 pengeringan	41

Gambar 4.3	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 9 pengeringan	42
Gambar 4.4	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 10 pengeringan (1x siklus pembasahan)	42
Gambar 4.5	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 13 pengeringan (2x siklus pembasahan)	43
Gambar 4.6	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 17 pengeringan (3x siklus pembasahan)	43
Gambar 4.7	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 21 pengeringan (4x siklus pembasahan)	44
Gambar 4.8	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 25 pengeringan (5x siklus pembasahan)	44
Gambar 4.9	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 29 pengeringan (6x siklus pembasahan)	45
Gambar 4.10	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 33 pengeringan (7x siklus pembasahan)	45
Gambar 4.11	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 37 pengeringan (8x siklus pembasahan)	46
Gambar 4.12	Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 41 pengeringan (9x siklus pembasahan)	46
Gambar 4.13	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus pertama hari ke-9 dengan 0% PC	47

Gambar 4.14	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedua hari ke-13 dengan 0% PC	48
Gambar 4.15	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketiga hari ke-17 dengan 0% PC	48
Gambar 4.16	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keempat hari ke-21 dengan 0% PC	49
Gambar 4.17	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kelima hari ke-25 dengan 0% PC	49
Gambar 4.18	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keenam hari ke-29 dengan 0% PC	50
Gambar 4.19	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketujuh hari ke-33 dengan 0% PC	50
Gambar 4.20	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedelapan hari ke-37 dengan 0% PC	51
Gambar 4.21	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kesembilan hari ke-41 dengan 0% PC	51
Gambar 4.22	Perilaku penurunan rasio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang lapuk yang dibuat tanpa menggunakan portland cement hingga siklus ke-9 dengan variasi keadaan awal kadar air.	52
Gambar 4.23	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus pertama hari ke-9 dengan 3% PC	53
Gambar 4.24	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedua hari ke-13 dengan 3% PC	54
Gambar 4.25	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketiga hari ke-17 dengan 3% PC	54
Gambar 4.26	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keempat hari ke-21 dengan 3% PC	55
Gambar 4.27	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kelima hari ke-25 dengan 3% PC	55
Gambar 4.28	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keenam hari ke-29 dengan 3% PC	56

Gambar 4.29	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketujuh hari ke-33 dengan 3% PC	56
Gambar 4.30	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedelapan hari ke-37 dengan 3% PC	57
Gambar 4.31	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kesembilan hari ke-41 dengan 3% PC	57
Gambar 4.32	Perilaku penurunan rasio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan 3 % PC dari siklus ke-1 hingga siklus ke-9 dengan tiga kondisi keadaan awal kadar air.	58
Gambar 4.33	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus pertama hari ke-9 dengan 6% PC	59
Gambar 4.34	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedua hari ke-13 dengan 6% PC	60
Gambar 4.35	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketiga hari ke-17 dengan 6% PC	60
Gambar 4.36	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keempat hari ke-21 dengan 6% PC	61
Gambar 4.37	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kelima hari ke-25 dengan 6% PC	61
Gambar 4.38	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keenam hari ke-29 dengan 6% PC	62
Gambar 4.39	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketujuh hari ke-33 dengan 6% PC	62
Gambar 4.40	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedelapan hari ke-37 dengan 6% PC	63
Gambar 4.41	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kesembilan hari ke-41 dengan 6% PC	63
Gambar 4.42	Perilaku penurunan rasio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan 6 % PC dari siklus ke-1 hingga siklus ke-9 dengan tiga kondisi keadaan awal kadar air	64

Gambar 4.43	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus pertama hari ke-9 dengan 9% PC	65
Gambar 4.44	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedua hari ke-13 dengan 9% PC	66
Gambar 4.45	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketiga hari ke-17 dengan 9% PC	66
Gambar 4.46	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keempat hari ke-21 dengan 9% PC	67
Gambar 4.47	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kelima hari ke-25 dengan 9% PC	67
Gambar 4.48	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keenam hari ke-29 dengan 9% PC	68
Gambar 4.49	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketujuh hari ke-33 dengan 9% PC	68
Gambar 4.50	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedelapan hari ke-37 dengan 9% PC	69
Gambar 4.51	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kesembilan hari ke-41 dengan 9% PC	69
Gambar 4.52	Perilaku penurunan rasio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan 9 % PC dari siklus ke-1 hingga siklus ke-9 dengan tiga kondisi keadaan awal kadar air	70
Gambar 4.53	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus pertama hari ke-9 dengan 12% PC	71
Gambar 4.54	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedua hari ke-13 dengan 12% PC	72
Gambar 4.55	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketiga hari ke-17 dengan 12% PC	72
Gambar 4.56	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keempat hari ke-21 dengan 12% PC	73
Gambar 4.57	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kelima hari ke-25 dengan 12% PC	73

Gambar 4.58	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keenam hari ke-29 dengan 12% PC	74
Gambar 4.59	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketujuh hari ke-33 dengan 12% PC	74
Gambar 4.60	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedelapan hari ke-37 dengan 12% PC	75
Gambar 4.61	Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kesembilan hari ke-41 dengan 12% PC	75
Gambar 4.62	Perilaku penurunan rasio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan 12 % PC dari siklus ke-1 hingga siklus ke-9 dengan tiga kondisi keadaan awal kadar air	76

DAFTAR TABEL

Tabel No	JUDUL TABEL	Hal
Tabel 2.1	Nilai D_R dari batuan lempung keras yang terbuka semula jadi selama 12 bulan (Shakoor dan Gautam, 2015)	24
Tabel 2.2	Sistem klasifikasi ketahananlasakan didasarkan atas ratio disintegritas, D_R (Erguler dan Shakoor, 2009; ISRM, 2007)	24
Tabel 2.3	Perubahan klasifikasi ketahananlasakan clay shale Hambalang akibat pelapukan dengan proses pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan pada masa awal hingga 80 hari berdasarkan ISRM 2007 , Atlas I.M.,(2017)	25
Tabel 2.4	Hasil semi kuantitatif dari data uji XRD: Q (kuarsa), P (plagioklas), Py (pirit), R (rutil), G (gypsum), C (kalsit), Si (siderit), I (illit) dan S (smektit) (Sadisun et al., 2010)	27
Tabel 2.5	Hasil dari ketahananlasakan pengeringan dan perendaman (Sadisun et al., 2010)	27
Tabel 3.1	Sejumlah 15 sampel dengan variasi kondisi kadar air dan prosentase PC	31
Tabel 3.2	Jadwal pembasahan dan engeringan clay shale Hambalang lapuk untuk keperluan pelapukan ulang	33
Tabel 3.3	Kadar mineral clay shale Hambalang (LEMIGAS, 2015)	36
Tabel 3.4	Ikhtisar hasil pemadatan laboratorium clay shale lapuk dengan penambahan % portland cement	39

ABSTRAK

Clay Shale adalah batu lempung yang dalam kondisi segar memiliki kekuatan geser yang sangat tinggi. Ketika bereaksi dengan atmosfer atau hidrosfer, ia akan mengalami pelapukan sehingga kekuatan geser clay shale akan turun secara drastis. Potensi pelapukan *clay shale* umumnya dilakukan dengan uji ketahanan *slake* dan proses pelapukan diukur dengan uji rasio disintegrasi (D_R). Kekuatan *clay shale* yang telah sepenuhnya lapuk akan meningkat lagi ketika distabilkan dengan minimum 6% PC (Portland Cement). Itu diperoleh dari pengujian proses siklus pembasahan bahwa daya tahan pelapukan kembali dari lempung tanah yang distabilkan dengan PC meningkat dibandingkan dengan *clay shale* alami. Rasio disintegrasi *clay shale* alami D_R lebih kecil dari *clay shale* stabil dengan PC 6%. Penambahan lebih dari 6% PC meningkatkan daya tahan terhadap pelapukan kembali *clay shale*

ABSTRACT

Clay shale is a claystone which in fresh condition has a very high shear strength. When it reacts with the atmosphere or hydrosphere it will be weathering so that the shear strength of clay shale will drop drastically. The weathering potential of clay shale is generally done by the slake durability test and the weathering process is measured by disintegration ratio test (D_R). The strength of clay shale that has fully weathered will increase again when it was stabilized with a minimum of 6% PC (Portland Cement). It was obtained from wetting drying cycle process testing that durability of re-weathering of stabilized clay shale with PC is increase compare to natural clay shale. Disintegration ratio of natural clay shale D_R was smaller than stabilized clay shale with 6% PC. Additional more than 6% PC increased the durability of re-weathering of clay shale.

BAB 1

PENDAHULUAN

Clay shale adalah batuan elastik sedimen halus yang terdiri daripada campuran lumpur yang mempunyai kepingan mineral lempung dan serpihan kecil (lanau berukuran butiran) mineral lain, terutamanya Kuarsa dan Kalsit. Ratio lempung terhadap mineral lain adalah berbeda (Blatt dan Robaert,1996). Shale mempunyai ciri-ciri berupa patahan memanjang berbentuk lamina tipis atau lapisan berlapis berketebalan kurang daripada 1 cm yang dipanggil '*fissility*' (Blatt dan Robaert, 1996). Ciri '*fissility*' ini tidak terdapat pada batu lumpur lain yang berkomposisi sama. Sepertiga hingga dua pertiga kadar batu lumpur adalah butiran lanau berukuran lebih kecil daripada 0.06 mm. Sedangkan kurang daripada sepertiga kadar batu lempung adalah butiran lanau. Batuan dengan ukuran butiran yang sama tetapi dengan sedikit lempung atau lebih dua pertiga kadar butiran lanau disebut sebagai batu lanau.

Perilaku rekayasa utama clay shale amat sukar difahami kerana akan menjadi lempung lunak (lumpur) apabila terbuka kepada sinar cahaya matahari, udara dan air dalam masa yang agak singkat. Walau bagaimanapun lapisan clay shale yang dilindungi dengan lapisan tanah yang cukup tebal mempunyai kekuatan geser sangat baik. Perubahan sifat clay shale yang masih belum difahami ini telah mendorong penelitian dilakukan ke atas clay shale yang sukar terbuka mengalami proses pelapukan dan penurunan kekuatan melalui kerja galian.

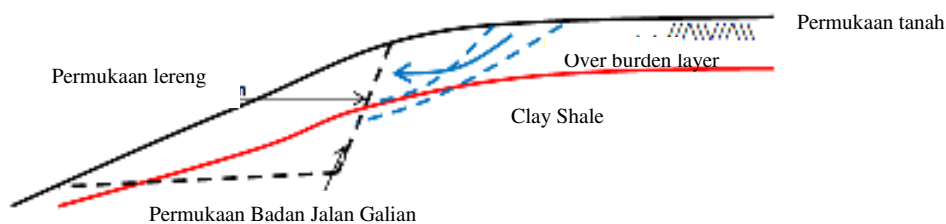
1.1 Latar Belakang Penelitian

Beberapa kasus kerusakan infrastruktur bangunan akibat keruntuhan lereng di Indonesia berasal daripada kelemahan struktur tanah clay shalnya. Keruntuhan lereng progresif telah diketahui dalam kejadian tanah runtuh seperti di Jalan Tol Cipulang (Irsyam *et al.*, 2007), Pusat Pendidikan Olah raga Hambalang Sentul Bogor (Alatas, 2010) dan Jalan Tol Unggaran-Bawen, Jawa Tengah (Himawan, 2011). Penelitian terperinci yang kurang terhadap kasus-kasus tanah runtuh ini telah menyebabkan para engineer membuat kekeliruan dalam disain rekayasa struktur bangunan.

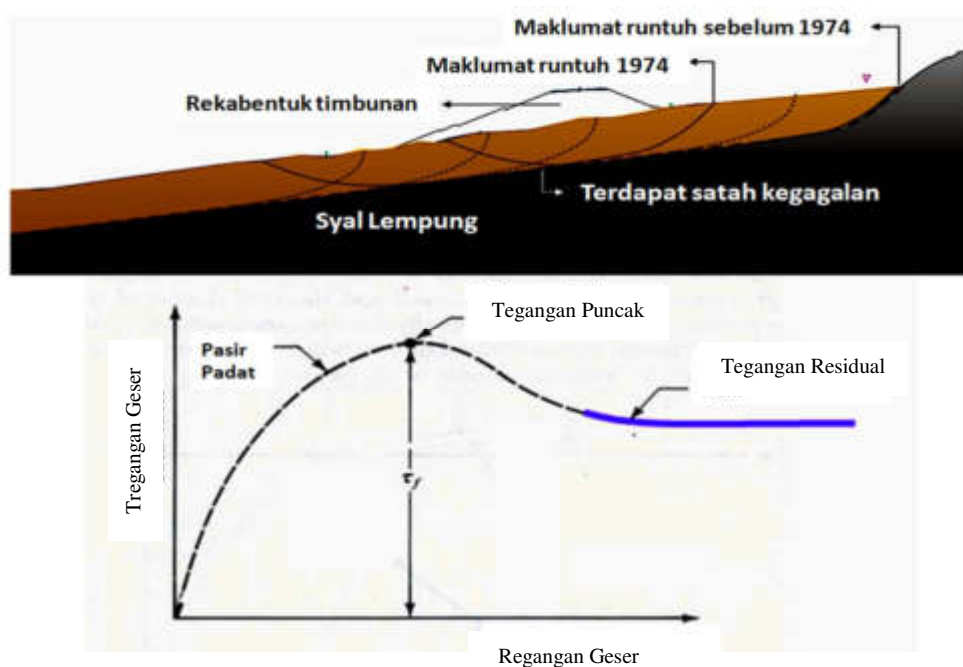
Beberapa kasus kegagalan lainnya banyak terjadi di bangunan instrastruktur jalan, terutama kegagalan yang disebabkan oleh subgrade berupa lempung yang sangat berpotensi swelling yang cukup besar. Lempung yang memiliki potensi swelling yang cukup besar adalah sejenis clay shale yang sudah melapuk seluruhnya, karena lempung jenis ini memiliki kandungan mineralogi yang sama dengan clay shale, seperti clay shale di Semarang-Bawen dengan lempung xpansif disebelah hilirnya di kota Semarang dan disebelah timurnya di daerah Purwadadi.

Penyebab kegagalan pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 dapat menggambarkan latar belakang permasalahan penelitian ini sebagai berikut:

- (1) Kelemahan perencana badan jalan di tanah clay shale yang telah melapuk seluruhnya (*full weathered clay shale*), menyebabkan gagalnya perkerasan jalan adalah berasal daripada kesalahan dalam memperkirakan perilaku tanah tersebut dalam menerimamdaya dukung dan swelling.
- (2) Proses pelapukan clay shale bergantung kepada mineral utama dalam clay shale, dan bagaimana proses pelapukan itu terjadi.
- (3) Semakin lama tanah clay shale terbuka kepada udara, cahaya matahari dan pembasahan akibat hujan sehingga terjadi proses pelapukan, maka semakin rendah nilai ratio disintegritas (D_R). Manakala semakin lama proses pengeringan dan pembasahan dilakukan, maka D_R semakin kecil.
- (4) Sebelum ini, belum diketahui secara pasti bagaima ratio disintegritas D_R jika clay shale yang telah melapuk seluruhnya ini jika diperbaiki sifatnya dengan memberikan portland cement.



Gambar 1.1 Kegagalan badan jalan apabila permukaan clay shale terbuka setelah dilakukan pemotongan lereng (Alatas, I.M., 2012)



Gambar 1.2 Keruntuhan lereng yang terus menerus terjadi apabila bidang keruntuhan telah terbentuk pada masa lalu (Irsyam *et al.*, 2011)

Clay shale sering dijumpai dalam struktur tanah di Indonesia khususnya di Jawa Barat, Jawa Tengah dan daerah lain di Indonesia. Tanah jenis ini memiliki kekuatan geser yang tinggi pada kedalaman tertentu walaupun dibebani oleh lapisan timbunan atas. Namun, kekuatan gesernya akan cepat menurun apabila ia terbuka kepada atmosfer atau hidrosfir. Dalam keadaan yang sudah melapuk seluruhnya dan yang memiliki kandungan air yang cukup besar, maka hal dapat dikategorikan lempung lunak yang memiliki potensi swelling yang cukup besar.

Perilaku kekuatan geser tanah didapati menurun secara drastik apabila tanah tersebut terganggu, terpelapukan (Gartung, 1986), dan kehilangan kekuatan (Irsyam *et al.*, 2011). Jika diuji di laboratorium, parameter kekuatan gesernya berubah dengan signifikan bila dibandingkan dengan keadaan asalnya di dalam tanah. Ini sangat berbeda dengan jenis lempung yang lain di mana pengeringan dan pembasahan tanah tidak memberikan penurunan kekuatan geser yang signifikan.

1.2 Pernyataan Masalah

Apabila terjadi proses pengeringan ataupun pengeringan dan pembasahan pada clay shale, maka clay shale menjadi lebih lemah. Ini terjadi karena proses pelapukan melalui pengeringan dan pembasahan telah menyebabkan penurunan kekuatan geser clay shale yang berasal dari pelapukan sifat fisik dari clay shale tersebut. Dalam Gambar 1.3 di bawah, perubahan bentuk fisik clay shale yang melalui proses pengeringan dan pembasahan dilihat semakin terlapukan dan kekuatan gesernya semakin berkurang.



Gambar 1.3 Perubahan bentuk fisik clay shale dari masa ke masa (Irsyam *et al.*, 2011)

Kebanyakan penelitian clay shale yang lalu yang dibahas dalam Bab 2 menggunakan sampel tidak terganggu dan terganggu untuk mendapatkan kekuatan geser pada tegangan puncak dan tegangan sisa. Sampel-sampel tersebut diuji melalui uji geser cincin (sampel terganggu) dan uji geser kotak (sampel tidak terganggu) tanpa mengkaji pengaruh pelapukan. Oleh karenanya, dalam penelitian ini pengaruh proses pelapukan clay shale dikaji lebih mendalam untuk mengetahui perubahan sifat-sifat indeks, fisik dan mekanik clay shale melalui data utama uji di laboratorium. Sehingga kini belum ada penelitian seumpama ini boleh dijadikan rujukan untuk perencanaan kestabilan lereng yang mengambil kira proses perubahan kekuatan geser akibat pelapukan, pelepasan tegangan dan proses lereng runtuh progresif.

Sehubungan itu, penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat clay shale secara holistik ini menggunakan hipopenelitian bahwa disain terdahulu telah menggunakan metode normal atas sifat-sifat lempung shale. Oleh karenanya, melalui penelitian ini parameter clay shale dapat dilihat secara terperinci. Parameter-parameter yang diperoleh melalui metode yang telah dirumuskan secara khusus dapat memberikan nilai sebenar untuk disain lereng pada masa akan datang. Ini diharapkan agar dapat mengatasi masalah engineer dalam disain lereng yang dipengaruhi oleh clay shale.

1.3 Tujuan dan Objek Penelitian

Penelitian ini dijalankan dengan tujuan untuk mengkaji kasus pelapukan periode ke dua, yaitu setelah clay shale lapuk seluruhnya kemudian di perbaiki dengan menambahkan beberapa prosentasi portland cement dengan kondisi kadar air awal yang berbeda sebelum dipadatkan. Setelah dipadatkan dilihat perilaku pelapukannya . Tujuan penelitian dicapai melalui empat objektif berikut:

- (1) Menentukan pengaruh portlant cement yang dicampurkan pada clay shale yang sudah melapuk seluruhnya terhadap perilaku pelapukan periode kedua kalinya..

- (2) Menentukan pengaruh kandungan air awal pada proses pematannya dengan portland cement terhadap ketahanan pelapukannya akibat proses siklus basah kering.
- (3) Menentukan kuantitatif prosentasi pemakaian portland cement yang efisien untuk kestabilan campuran clay shale dengan portland cement yang cukup handal rasio disintegritasnya.

1.4 Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian ini akan dilakukan pada sampel tanah clay shale dari Hambalang Sentul Jawa Barat seperti dalam Gambar 1.4



Gambar 1.4 Lokasi Pusat Pendidikan Olah Raga Hambalang, Sentul, Jawa Barat (Geoinves, 2010)

Untuk mencapai objektif (1), pengaruh pemakaian portland cement yang dicampurkan pada clay shale yang sudah melapuk seluruhnya terhadap perilaku pelapukan periode kedua kalinya dilakukan pada waktu periode tertentu dengan siklus pembasahan dan pengeringan. Perubahan pelapukan dilihat dari perubahan gradasi butirannya akibat pelapukan. Ditentukan dengan rasio disintegritas yang telah didefinisikan oleh Shakoor (2009) serta Erguler (2011). Sedangkan perubahan sifat fisik dan sifat properties lainnya terhadap clay shale Hambalang telah diteliti sebelumnya akibat proses pengeringan dan siklus pembasahan dan pengeringan (Alatas I.A, 2016). Pada penelitian yang lalu tersebut, proses pengeringan serta siklus

pembasahan dan pengeringan sampel clay shale dilakukan di samping uji perubahan sifat fisik clay shale seperti perubahan gradasi butiran akibat pelapukan dengan menghitung rasio disintegritasnya (D_R). Perubahan sifat fisik clay shale akibat pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan dilakukan seperti perubahan rasio disintegritas (D_R) yang diperoleh daripada distribusi ukuran butiran (GSD) akibat pelapukan.

Kemudian dalam objektif (2) pengaruh kandungan air awal pada proses pematangannya dengan portland cement pengaruhnya terhadap perubahan rasio disintegritas (D_R) di cari dengan tiga kondisi kadar air awal. Pertama kadar air awal pada kadar air optimum, kedua kadar air lebih kecil dari kadar air optimum, dan ketiga kadar air lebih besar dari kadar air optimum. Dari keadaan ini dapat dilihat pengaruh keadaan kondisi kadar air awal saat campuran clay shale dan portland cement dipadatkan terhadap perubahan rasio disintegritasnya.

Kemudian dalam objektif (3), penentuan kuantitatif ditentukan dari pemakaian portland cement yang efisien dan mampu membuat campuran tersebut bertahan dari pelapukan kedua kalinya.

1.5 Kepentingan Penelitian

Kepentingan penelitian ini sangat bermanfaat untuk melihat tingkat kecepatan pelapukan dari suatu clay shale. Sehingga perencana dapat mengenal pasti perilaku pelapukan clay shale yang ditemui dilapangan. Dengan demikian dapat mengetahui secara pasti pengaruh penggunaan portland cement yang efisien terhadap peningkatan stabilitas subgrade clay shale yang telah melapuk seluruhnya untuk keperluan pekerjaan badan jalan.

1.6 Susunan Pelaporan Penelitian

Bab 1 adalah pendahuluan yang meliputi pembahasan tentang latar belakang, pernyataan masalah, tujuan dan objektif penelitian, lingkup penelitian dan kepentingan penelitian.

Seterusnya, Bab 2 membincangkan penelitian literatur berkaitan clay shale dari segi mineralogi, kimia, ciri-ciri pengaruh pelapukan terhadap penurunan rasio disintegritasnya.

Dalam Bab 3, metodologi penelitian dibahas dengan memuatkan diagram alir penelitian dan penjelasan tentang metode uji laboratorium yang akan dilakukan. Rencana proses siklus pembasahan dan pengeringan yang dilakukan disusun hingga mencapai 9 siklus.

Dalam Bab 4 dibahas tentang hasil uji sifat-sifat fisik clay shale akibat proses pelapukan yang kedua setelah ditambahkan portland cement pada clay shale yang telah melapuk seluruhnya sebelum dipadatkan. Rasio disintegritas (D_R) ditentukan pada tiap tahapan pelapukan akibat siklus pembasahan dan pengeringan. dibahas. Penelitian ini diakhiri dengan Bab 5 untuk kesimpulan dan saran penelitian lanjut.

BAB 2

STUDI PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Bab ini menyampaikan penelitian literatur dari beberapa peneliti terdahulu yang menghubungkan perilaku dan kekuatan geser clay shale serta pengaruh pelapukan terhadap penurunan kekuatan geser clay shale. Beberapa penelitian kekuatan geser clay shale yang lalu telah membicarakan hasil berbagai jenis uji di laboratorium pada tegangan puncak dan tegangan sisa. Penelitian mengenai kekuatan geser ini sangat penting dalam pembahasan dan validasi hasil penelitian uji yang diperoleh.

Penelitian terdahulu mengenai uji kekuatan geser dengan sistem bertahap sangat penting untuk menentukan kohesi dan sudut geser dalam clay shale. Uji triaksial dengan sistem bertahap diaplikasi untuk menentukan kekuatan geser sisa tanpa pelepasan tegangan dan dengan pelepasan tegangan. Dalam setiap uji triaksial, gambar sampel yang runtuh diambil untuk dibahas pada bab seterusnya.

Parameter yang diperoleh daripada kekuatan geser tersebut diperlukan dalam penentuan faktor keamanan lereng yang sangat penting dalam rekayasa geoteknik. Ini telah menyebabkan wujudnya pembahasan tentang penentuan faktor keamanan dengan metode kesetimbangan batas serta metode unsur terhingga dalam beberapa literatur. Penelitian ini sangat penting terutamanya dalam kasus keruntuhan lereng

dan untuk itu analisis balik dibuat dalam menentukan kekuatan geser semasa terjadinya keruntuhan lereng.

Pada akhir Bab 2 ini, jurang berbeza dari penelitian lalu dibahas bagi memastikan penelitian ini mempunyai kepentingan yang bermanfaat bagi rekayasa geoteknik pada masa depan.

2.2 Perilaku Clay Shale

Banyak penelitian telah dilakukan mengenai keruntuhan lereng melalui penelitian lapangan ataupun penelitian di laboratorium, contohnya keruntuhan lereng di hulu empangan San Luis California yang disokong oleh tanah lempung kaku dan kering. Dalam penelitian tersebut ditunjukkan bahwa kekuatan geser tanah lempung menurun dengan cepat pada kekuatan melemah penuh (*fully softened*) ketika tanah lempung basah (Timothy *et al.*, 1991). Manakala pada penelitian tanah lempung yang dikenakan beban berulang, kekuatan menurun secara bertahap daripada melemah sepenuhnya kepada nilai sisa. Tanah lempung yang sangat terkukuh (*overconsolidated*) biasanya bersifat stabil dan memiliki kekuatan geser bandingan yang tinggi dalam keadaan asalnya. Perubahan kimia semasa proses pelapukan mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser (Skempton, 1977). Ini bergantung pada kekuatan pelapukan, yaitu zon lemah akan berkembang pada lereng yang berpotensi menjadi tidak stabil. Di zon yang paling tinggi kekuatannya, gerakan kecil mulai terbentuk dan mengakibatkan pengurangan yang progresif dari kekuatan geser yang menyebabkan ketidakstabilan pada lereng (Skempton, 1977).

2.2.1 Perubahan Fisik Clay Shale

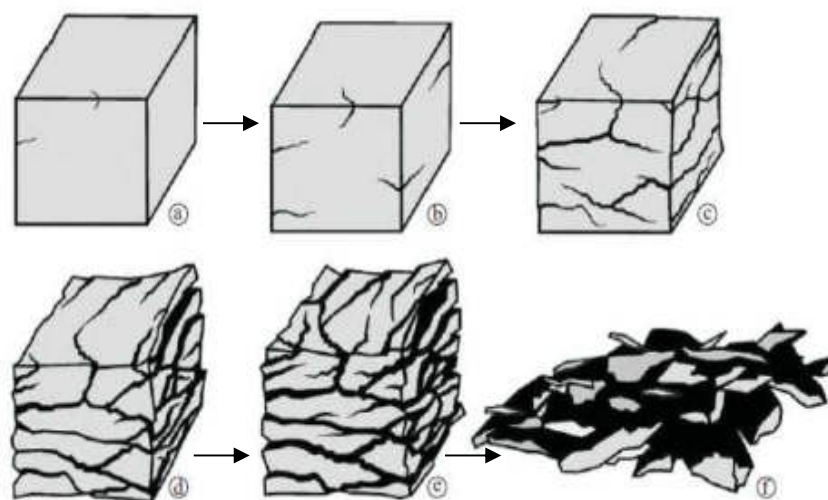
Perilaku rekayasa clay shale adalah suatu perihai yang sangat rumit. Jika clay shale terkena cahaya matahari, udara dan air, maka dalam waktu yang singkat akan terpelapukan dan berubah menjadi lempung lunak. Dari penelitian terdahulu (Shakoor dan Tej, 2011), clay shale adalah sebagian jenis lempung batuan dasar

(*Clay-Bearing Rocks*), batu lempung, batu lumpur dan batu lanau (Nandi dan Shakoor, 2008) seperti dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Perilaku lempung-batuan dasar di lapangan (Nandi dan Shakoor, 2008)

Secara umumnya pelapukan dapat didefinisikan sebagai proses perubahan batuan yang terjadi di bawah pengaruh atmosfer dan hidrosfir. Perubahan tersebut boleh dalam bentuk disintegritas fisik dan penguraian kimia. Di kawasan iklim tropika, proses ini lebih sering terjadi berbanding keadaan iklim lainnya (Sadisun *et al.*, 2006). Gambar 2.3 di bawah ini adalah suatu ilustrasi proses kehancuran clay shale akibat pelapukan (Sadisun *et al.*, 2010).

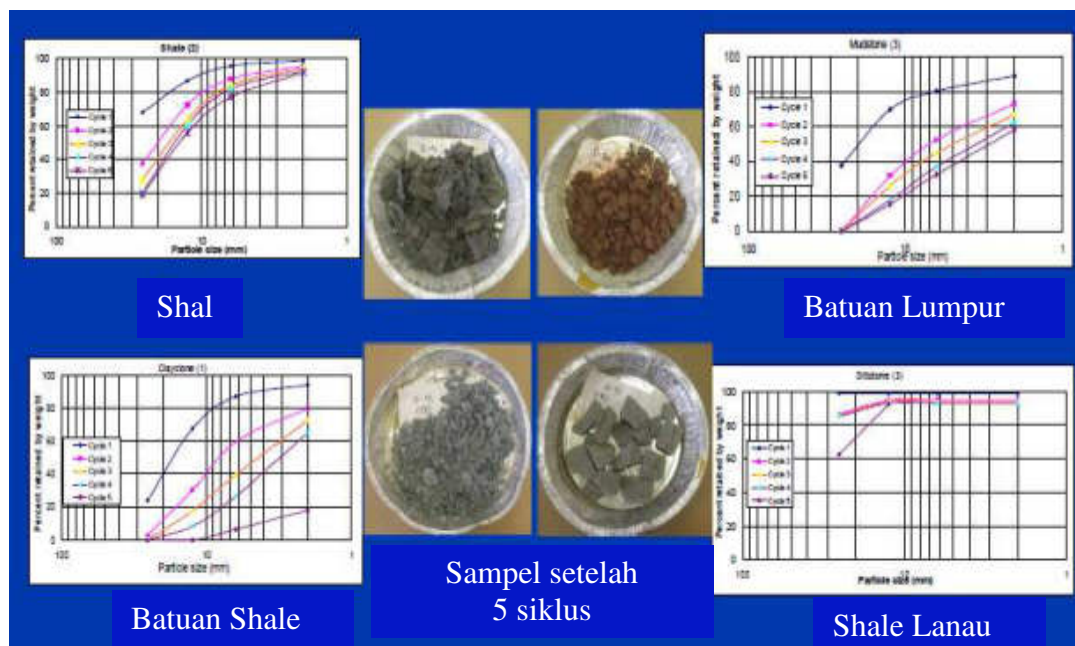


Gambar 2.2 Ilustrasi perubahan batu lempung terhadap masa akibat proses pelapukan (Sadisun *et al.*, 2010)

Terdapat parameter dari dua uji yang seharusnya diketahui untuk jenis tanah ini, yang tidak diperlukan bagi tanah lempung lain yaitu:

- (i) Indeks ketahananlasakan (*Slake Durability Index*)
- (ii) Ratio disintegritas (*Disintegration Ratio*)

Uji indeks ketahananlasakan ini dilakukan di laboratorium hingga lima siklus (ASTM D 4644-87, 1989) dan hasil penelitian empat jenis batuan lempung yang dilakukan pelapukan dalam beberapa masa perubahan distribusi ukuran butiran (*grain size distribution*) terjadi dari masa ke semasa disebabkan oleh proses tersebut (Erguler dan Shakoor, 2009; Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015). Gambar 2.3 menunjukkan perubahan distribusi ukuran butiran bagi empat penelitian tersebut. Dari gambar tersebut, ratio disintegritas (D_R) diperolehi daripada ratio luas di bawah lengkung distribusi ukuran butiran dengan luas jumlah menyeluruh lengkungan distribusi ukuran butiran. Gambar 2.4 pula menggambarkan indeks ketahananlasakan dari clay shale dibandingkan dengan batu lempung, batu lumpur dan batu lanau. Pengaruh perubahan cuaca terhadap perubahan distribusi ukuran butiran clay shale dan lainnya selama satu tahun (Shakoor dan Tej, 2011), telah dilakukan dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.

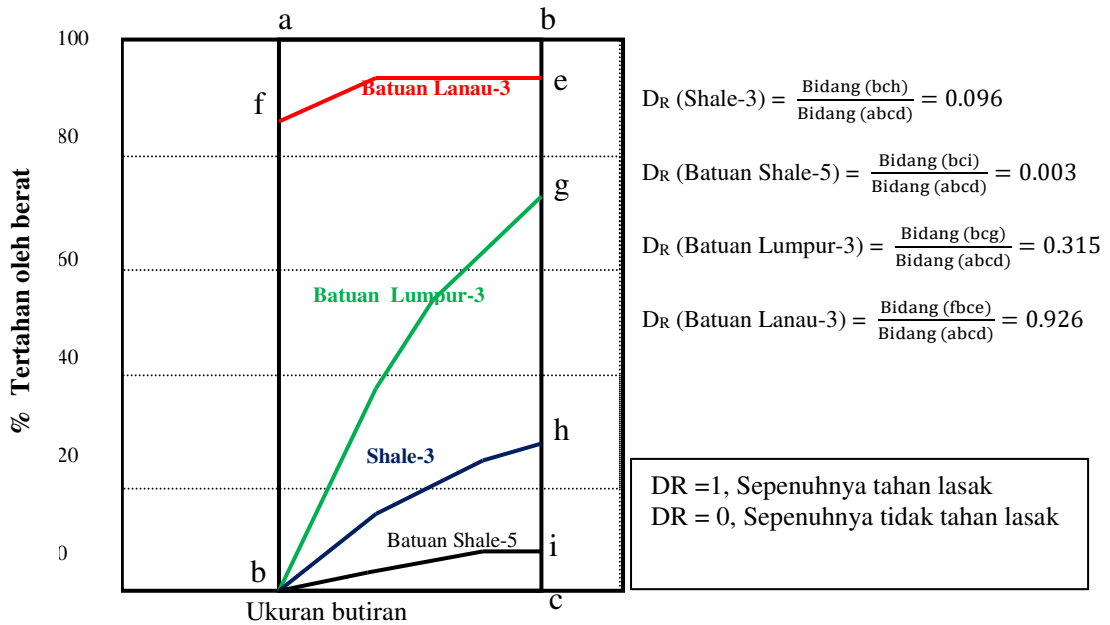


Gambar 2.3 Distribusi ukuran butiran sampel yang hancur di laboratorium terhadap empat jenis lempung batuan dasar (Shakoor dan Tej, 2011)

Dari gambar distribusi ukuran butiran, ratio disintegritas (D_R) yang diperoleh ialah:

$$D_R = \frac{A_c}{A_T}; \quad \text{di mana } A_c = \text{Luas dibawah lengkung distribusi ukuran butiran, dan}$$

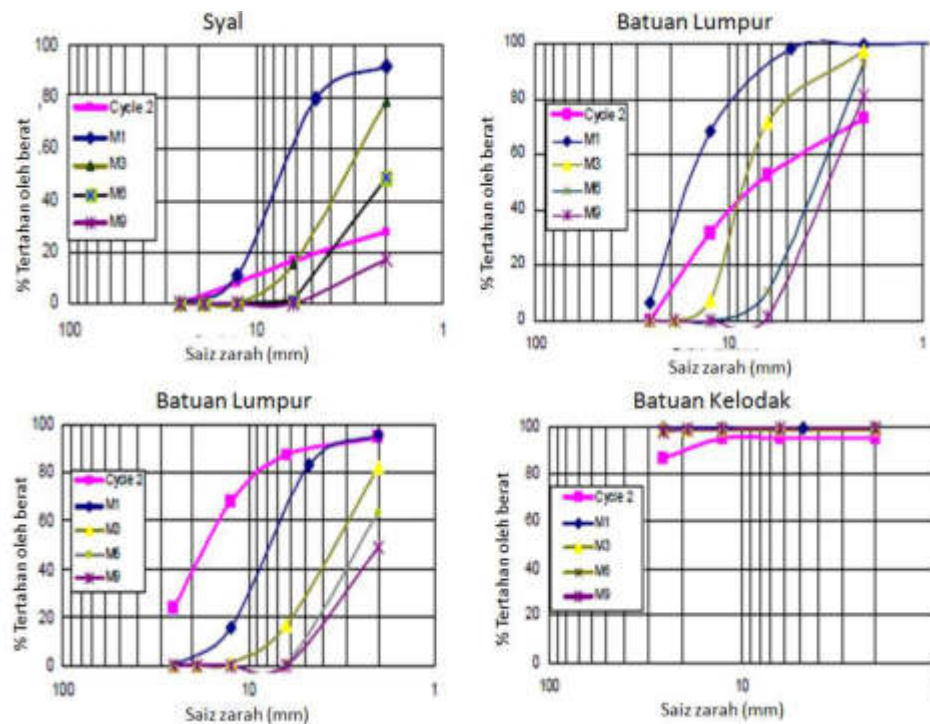
$A_T = \text{Luas jumlah menyeluruh lengkungan distribusi ukuran butiran.}$



Gambar 2.4 Indeks ketahananlasakan dari clay shale dibandingkan dengan batu lempung, batu lumpur dan batu lanau (Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015)



Gambar 2.5 Perubahan fisik clay shale dan lainnya akibat pelapukan (Shakoor dan Tej, 2011)



Gambar 2.6 Perubahan distribusi ukuran butiran akibat sampel yang hancur (*slake*) setelah 1, 3, 6, dan 9 bulan (Shakoor dan Tej, 2011)

Penelitian sebanyak 20 sampel batuan lempung, batuan lumpur, batuan lanau dan shale, telah dikaji perubahan ratio disintegritasnya (D_R) selama satu tahun oleh Shakoor dan Gautam (2015). Terjadinya pelapukan selama setahun pada batuan tersebut menyebabkan pengurangan ratio disintegritas (D_R). Sementara Erguler dan Shakoor (2009) melakukan pengkelasan berdasarkan perubahan ratio disintegritas dengan terlebih dahulu ditentukan indeks ketahanan lasakan Isd_2 (%) pada siklus ke-2 berdasarkan ISRM (2007).

Uji pengembangan daripada 38 sampel batuan lumpur, shale lumpur, batuan lanau dan batuan lumpur dilakukan dengan metode perendaman batuan. Perubahan isi sampel terkecil sebanyak 0.1% terjadi akibat perendaman, manakala perubahan isi sampel maksimum terjadi pada batuan lempung sebanyak 68.9% (Sarman dan Shakoor, 1994).

2.2.2 Perubahan Sifat Fisik Clay Shale Akibat Proses Pelapukan

Perubahan yang sangat signifikan akibat proses pelapukan ialah perubahan fisik clay shale. Perubahan fisik clay shale akibat pengeringan dan siklus pembasahan dan pengeringan diamati dengan perubahan dari distribusi ukuran butiran. Hal ini dilakukan agar pelapukan yang terjadi dapat diukur secara kuantitatif dengan melakukan uji distribusi ukuran butiran.

Untuk mengetahui pengaruh pengeringan terhadap pelapukan clay shale, uji distribusi ukuran butiran dibuat bagi setiap 8 hari pengeringan. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan uji distribusi ukuran butiran dibuat dengan perubahan jumlah pembasahan pada setiap 8 hari. Pembasahan adalah 1 kali dalam 8 hari, 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan 3 kali pembasahan dalam 8 hari, seperti pada Gambar 2.7 .

Untuk mengetahui secara kuantitatif pengaruh pelapukan dari dua proses tersebut diatas, maka ditentukan nilai disintegritas (D_R) sebagai parameter yang sangat kentara untuk mengukur secara kuantitatif ciri-ciri pengepungan (*slaking characteristic*) clay shale karena kejadian pelapukan (Erguler dan Shakoor, 2009; Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015). Ini adalah untuk mengetahui perubahan ratio disintegritas terhadap masa pengeringan dan siklus pembasahan. Perincian pengaruh kuantitatif perendaman terhadap perubahan ratio disintegritas pada siklus pembasahan dan pengeringan diperoleh hingga masa 80 hari.

Perubahan sistem klasifikasi ketahananlasakan akibat pelapukan dengan proses pengeringan dan pembasahan pengeringan juga ditentukan berdasarkan atas ratio disintegritas (D_R) yang terjadi. Sistem klasifikasi ketahananlasakan clay shale berlandaskan kepada standar dari *International Society for Rocks Mechanics* (ISRM, 2007).

Akhir sekali dikaji juga bagaimana pengaruh perbedaan kadar mineral clay shale terhadap perubahan ratio disintegritas (D_R). Ini karena dua clay shale yang dikaji dalam penelitian ini diperoleh dari dua lokasi yang berbeda jauh (Jawa Barat dan Jawa Tengah) yang memiliki sejarah geologi yang berbeda. Ini juga menyebabkan terdapat perbedaan perilaku perubahan ratio disintegritas bagi dua clay shale tersebut.



Gambar 2.7 Perubahan sifat fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang terhadap proses pengeringan dan siklus pembasahan pengeringan, Atlas I.M.,(2017).

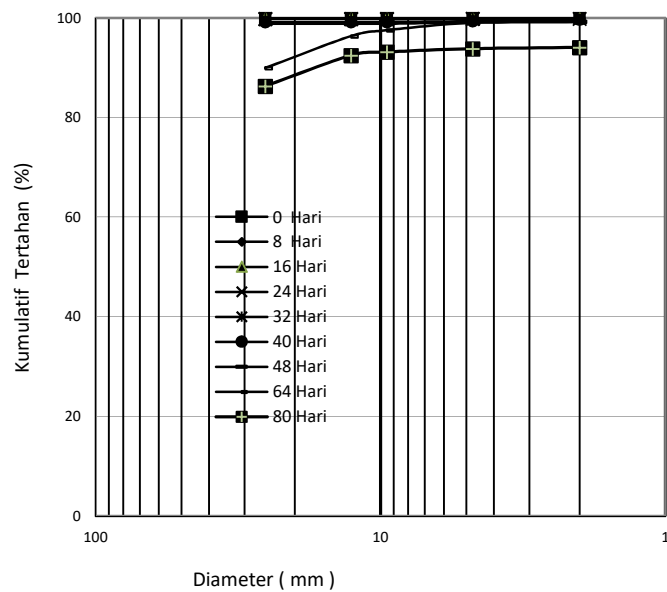
2.2.3 Perubahan Sifat Fisik Akibat Proses Masa Pengeringan

Perubahan sifat fisik clay shale Hambalang akibat proses pengeringan dalam masa 80 hari adalah seperti pada Gambar 2.8. Secara kuantitatifnya perubahan bentuk tersebut digambarkan dalam distribusi ukuran butiran seperti Gambar 2.9. Dari kedua distribusi ukuran butiran tersebut dilihat ada perbedaan perilaku pada kedua clay shale dalam pelapukan. Sedangkan pada clay shale Hambalang hal serupa mulai terjadi pada masa 48 hari pengeringan.

Perbedaan perilaku dari empat sampel batuan lempung keras seperti batuan lanau, shale, batuan lempung dan batuan lumpur menunjukkan ketahananlasakan yang berbeda. Hal ini diperhatikan setelah dilakukan uji '*slake durability*' dibuat. Ketahananlasakan batuan lanau lebih tinggi bila dibandingkan dengan shale, batuan lempung dan batuan lumpur setelah siklus ke-3 uji '*slake durability*' (Erguler dan Shakoor, 2009).



Gambar 2.8 Perubahan butiran clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang akibat proses pengeringan hingga 80 hari, Atlas I.M.,(2017).



Gambar 2.9 Perubahan distribusi ukuran butiran clay shale akibat proses pengeringan clay shale Hambalang (Atlas I.M., 2017)

2.2.4 Perubahan Sifat Fisik Akibat Siklus Pembasahan dan Pengeringan

. Pada Gambar 2.10 sifat fisik clay shale Hambalang yang dilakukan perendaman 1 kali dalam setiap 8 hari, dalam masa siklus pembasahan dan pengeringan hari ke-24 ukuran butiran 2 mm yang tertahan adalah 84.6%. Pada hari yang sama perendaman 2 kali dalam setiap 8 hari ukuran butiran 2 mm yang tertahan adalah 82%, dan pada perendaman 3 kali dalam setiap 8 hari, butiran yang tertahan adalah 60.8%. Pada masa siklus pembasahan dan pengeringan dari 24 hari dengan pembasahan 3 kali dalam setiap 8 hari menunjukkan ukuran butiran 2 mm yang terlahan lebih kecil daripada 60.8% (antara 41.2% hingga 60.8%). Gambar perubahan fisik clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan dapat dilihat pada Gambar 2.11.

Perilaku ratio disintegritas batuan lempung keras di bawah keadaan iklim semula jadi telah disiasat dengan meletakkan 12 sampel yang mensimulasikan setiap satu daripada 20 batu di atas bumbung McGilvrey Hall, sebuah bangunan lima tingkat di Kent State University. Setiap sampel terdiri daripada 10-12 keping, setiap keping berat 40-60 g, dengan jumlah sampel seberat 450-550 g. Kualiti aluminium mengandungi sampel mempunyai skrin berlubang dilindungi untuk air ke longkang. Sampel didedahkan kepada keadaan iklim semula jadi untuk 1 tahun, dari bulan September 2009 hingga September 2010. Dalam tempoh pendedahan, suhu adalah antara 24.3°C (24.3°F) pada bulan Januari 2010 dan 23.0°C (73.4°F) pada bulan Julai 2010, dan hujan tahunan rata-rata adalah 101.5 cm (40 in). Januari dan Februari adalah bulan paling dingin tahun ini di timur laut Ohio, dan bulan Mei hingga Ogos adalah bulan yang paling panas. Kebanyakan salji di rantau ini terjadi pada bulan Disember, Januari dan Februari. Selepas setiap bulan pendedahan kepada keadaan iklim semula jadi, satu sampel disimulasi setiap satu daripada empat jenis batuan lempung keras dibawa ke laboratorium, dikeringkan di dalam oven pada 50° C, dan distribusi ukuran butiran yang ditentukan. Gambar 2.12 adalah contoh perilaku disintegritas sampel batuan lempung selepas melalui pelbagai tempoh pendedahan kepada keadaan iklim semula jadi. Distribusi ukuran butiran telah digunakan untuk mengukur jumlah disintegritas setiap sampel dengan menentukan ratio disintegritas (D_R). Pemerhatian perilaku disintegritas telah dibuat dua kali seminggu, dan rekod

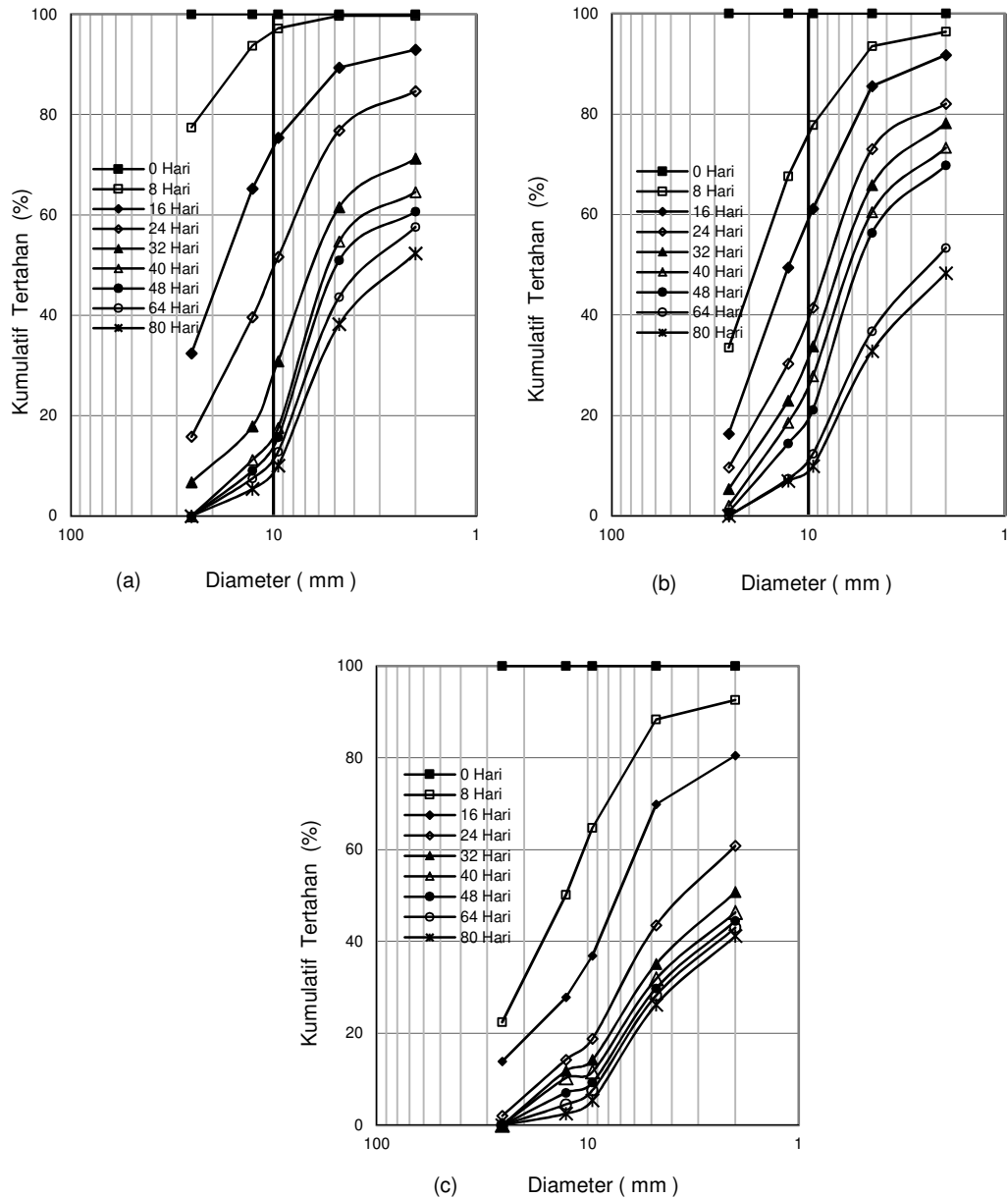
gambar dikekalkan. Perilaku disintegritas empat kumpulan batuan lempung keras dikaji telah diperoleh (Shakoor dan Tej, 2011; Shakoor dan Gautam, 2015).



Gambar 2.10 Disintegritas sampel batuan lempung, setelah pendedahan iklim mula-mula (Shakoor dan Gautam, 2015)



Gambar 2.11 Perubahan bentuk fisik clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang akibat siklus pembasahana pengeringan dengan 2 kali pembasahan setiap 8 hari (Alatas I.M.,(2017).



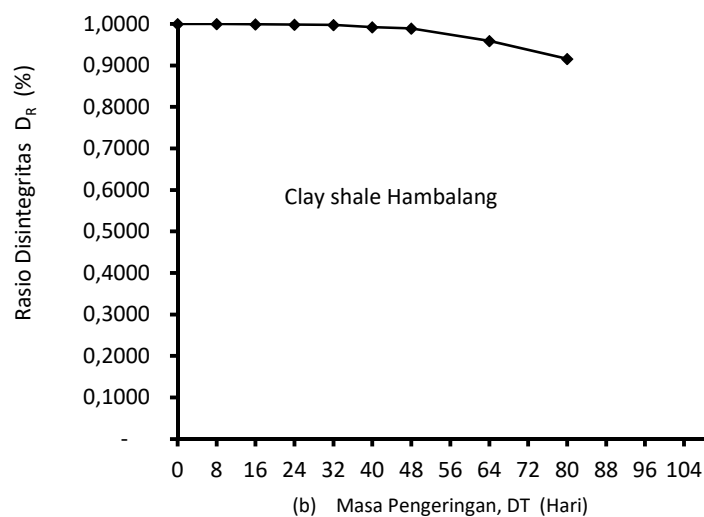
Gambar 2.12 Perubahan distribusi distribusi ukuran butiran clay shale Hambalang akibat siklus pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari, (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari. Alatas I.M.,(2017).

2.2.5 Perubahan Ratio Disintegritas (D_R) Akibat Proses Masa Pengeringan

Gambar dari uji clay shale clay shale Hambalang pada uji pengeringan dapat dilihat pada Gambar 2.8. Manakala hasil uji distribusi ukuran butiran hingga 80 hari

pengeringan terdapat pada Gambar 2.9. Dari Gambar 2.9 serta dengan memakai metode seperti pada Gambar 5.8 pengaruh masa pengeringan 80 hari pengeringan hingga terhadap penurunan ratio disintegritas (D_R) dapat dihasilkan.

Hingga hari ke-80 masa pengeringan, ratio disintegritas clay shale Semarang-Bawen mencapai 0.9152. Sedangkan pada clay shale Hambalang ratio disintegritas sebanyak 0.9162. Akibat proses pengeringan hingga masa 80 hari, kedua-dua clay shale tersebut memiliki perilaku perubahan ketahanan lasakan dengan nilai ratio disintegritas yang tidak terlalu berbeda. Tanpa pengaruh terbuka dengan hidrosfir, clay shale masih memiliki ketahanan lasakan yang cukup baik sehingga masih memiliki ratio disintegritas D_R yang menghampiri 1.00. Hasil pengaruh masa pengeringan hingga 80 hari terhadap penurunan ratio disintegritas (D_R) dapat dilihat pada Gambar 2.13 .



Gambar 2.13 Perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat proses masa pengeringan clay shale Hambalang, Alatas I.M.,(2017).

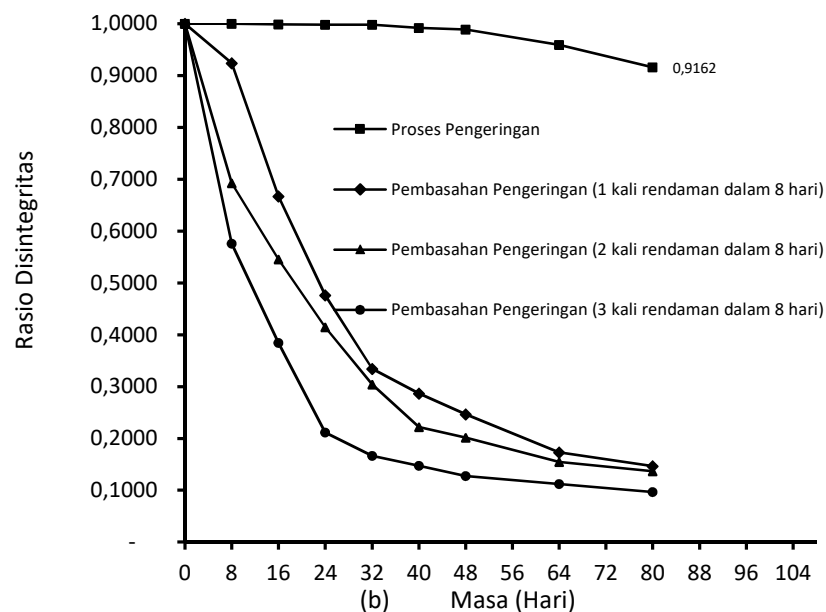
2.2.6 Perubahan Ratio Disintegritas (D_R) Akibat Siklus Pembasahan Pengeringan

Di dalam uji distribusi ukuran butiran clay shale akibat siklus pembasahan dan pengeringan selama masa 80 hari dilakukan perubahan jumlah rendaman dalam pada masa 8 hari. Perubahan jumlah rendaman tersebut adalah 1 kali rendaman pada

masa 8 hari, 2 kali rendaman pada masa 8 hari dan 3 kali rendaman pada masa 8 hari. Pada setiap masa 8 hari dilakukan uji distribusi ukuran butiran. Dari uji ini diperoleh hubungan antara kumulatif tertahan (%) dan diameter (mm), untuk ratio disintegritas D_R yang dihitung adalah seperti pada Gambar 2.4. Hitungan ratio disintegritas D_R ini dilakukan pada setiap masa pengeringan dan masa siklus pembasahan pengeringan.

Dari hitungan ratio disintegritas D_R seperti dilihat pada Gambar 2.14 pengaruh dari kekerapan rendaman dalam masa 8 hari sangat mempengaruhi perubahan ratio disintegritas (D_R). Semakin kerap jumlah rendaman dalam masa 8 hari, maka semakin besar penurunan ratio disintegritas yang terjadi. Hal ini terjadi pada clay shale Hambalang.

Pada Gambar 2.14 juga dilihat bahwa dua proses pelapukan yaitu proses pengeringan dan siklus pembasahan pengeringan memberikan akibat yang sangat berbeda terhadap ratio disintegritas D_R . Pada masa pengeringan 80 hari, ratio disintegritas untuk clay shale Semarang-Bawen sebanyak $D_R=0.9152$. dan untuk clay shale Hambalang $D_R=0.9162$. Sedangkan pada masa yang sama akibat rendaman 1 kali dalam 8 hari, ratio disintegritas clay shale Hambalang $D_R = 0.1467$



Gambar 2.14 Perubahan ratio disintegritas (D_R) clay shale akibat masa pengeringan dan masa siklus pembasahan pengeringan clay shale Hambalang, Alatas I.M.,(2017)

Dari penelitian terdahulu bagi kelompok batuan lempung keras, seperti batuan lempung, batuan lumpur, batuan lanau dan shale, uji pembasahan dan pengeringan secara semula jadi selama 12 bulan telah dilakukan. Jumlah sampel yang diuji sebanyak 20 sampel dengan 5 sampel pada setiap jenis batuan. Setiap bulan dilakukan uji distribusi ukuran butiran yang jangkajutnya dihitung ratio disintegritas (D_R) (Shakoor dan Gautam, 2015). Perubahan ratio disintegritas (D_R) hingga 12 bulan adalah seperti pada Tabel 2.1. Dari tabel tersebut didapati bahwa semakin lama proses pelapukan dilakukan maka semakin kecil nilai ratio disintegritas. Secara kuantitatif ratio disintegritas (D_R) sangat tergantung dari jenis sampel batuan yang diuji.

Pada Tabel 2.2 disampaikan suatu sistem klasifikasi ketahananlasakan yang berdasarkan ratio disintegritas dan indeks ketahananlasakan pada siklus ke-2. Sistem klasifikasi ketahananlasakan dibuat menjadi 6 kelas, dari sangat rendah $D_R = 0.00$ hingga 0.19 hingga sangat tinggi yaitu 0.96 hingga 1.00.

Dari klasifikasi ketahananlasakan yang berdasarkan metode ISRM 2007, maka clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang termasuk dalam 'kelas tinggi' dengan D_R antara 0.9165 hingga 0.9162 pada masa 80 hari dengan proses pengeringan. Pada clay shale Semarang-Bawen dengan 1 kali pembasahan dalam 8 hari, klasifikasi ketahananlasakan akan turun menjadi 'kelas sangat rendah' akibat siklus pembasahan-pengeringan setelah hari ke-16. Akibat 2 kali dan 3 kali pembasahan dalam 8 hari kelas sangat rendah terjadi setelah hari ke-8. Pada clay shale Hambalang 'kelas sangat rendah' terjadi mulai hari ke-64 masa siklus pembasahan-pengeringan dengan 1 kali dan 2 kali pembasahan dalam 8 hari. Sedangkan akibat 3 kali pembasahan dalam 8 hari, 'kelas sangat rendah' sudah terjadi pada hari ke-24.

Akibat proses pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan hingga hari ke-80, clay shale Semarang-Bawen dan clay shale Hambalang mengalami penurunan klasifikasi ketahananlasakan. Perubahan ini lebih signifikan akibat siklus pembasahan pengeringan, di mana kuantiti pembasahan dalam 8 hari sangat mempengaruhi kecepatan pelapukan yang secara kuantitatifnya akan menyebabkan penurunan klasifikasi ketahananlasakan. Ringkasan perubahan klasifikasi

ketahanlasakan clay shale Hambalang terhadap pelapukan akibat proses pengeringan dan pengeringan dan pembasahan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.1 : Nilai D_R dari batuan lempung keras yang terbuka semula jadi selama 12 bulan (Shakoor dan Gautam, 2015)

Sampel	Ratio Disintegritas (D_R) untuk bulan (M) 1 - 12											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
CST-1	0.312	0.172	0.116	0.085	0.074	0.060	0.061	0.050	0.045	0.038	0.042	0.042
CST-2	0.229	0.029	0.036	0.027	0.017	0.014	0.012					
CST-3	0.850	0.851	0.889	0.600	0.323	0.155	0.154	0.095	0.049	0.072	0.072	0.022
CST-4	0.197	0.079	0.053	0.596	0.050	0.069	0.029	0.016	0.011	0.003	0.001	0.376
CST-5	0.079	0.064	0.019	0.005	0.007	0.020	0.010	0.004	0.003	0.000		
MST-1	0.715	0.719	0.438	0.417	0.376	0.475	0.350	0.190	0.416	0.337	0.584	0.208
MST-2	0.095	0.018	0.004	0.003	0.004	0.001	0.003	0.001				
MST-3	0.597	0.528	0.269	0.193	0.136	0.109	0.095	0.086	0.078	0.086	0.076	0.079
MST-4	0.941	0.721	0.759	0.648	0.468	0.381	0.694	0.363	0.518	0.381	0.380	0.416
MST-5	0.147	0.104	0.037	0.040	0.023	0.031	0.149	0.018	0.114	0.011	0.154	0.110
SLT-1	0.751	0.329	0.626	0.796	0.105	0.145	0.895	0.974	0.866	0.436	0.364	0.914
SLT-2	0.993	0.992	0.769	0.859	0.792	0.486	0.610	0.771	0.963	0.964	0.922	0.828
SLT-3	0.994	0.996	0.991	0.994	0.980	0.990	0.996	0.984	0.989	0.980	0.968	0.938
SLT-4	0.991	0.997	0.984	0.978	0.993	0.997	0.998	0.998	0.974	0.989	0.989	0.990
SLT-5	0.772	0.574	0.121	0.060	0.039	0.037	0.050	0.028	0.028	0.015	0.009	0.006
SHL-1	0.988	0.985	0.978	0.972	0.976	0.966	0.973	0.934	0.971	0.961	0.951	0.950
SHL-2	0.883	0.666	0.511	0.466	0.437	0.391	0.397	0.344	0.329	0.377	0.306	0.328
SHL-3	0.281	0.160	0.107	0.070	0.062	0.048	0.041	0.039	0.016	0.010	0.014	0.011
SHL-4	0.198	0.081	0.042	0.041	0.104	0.034	0.019	0.008	0.006	0.011	0.004	0.005
SHL-5	0.969	0.911	0.831	0.700	0.892	0.604	0.498	0.605	0.454	0.526	0.324	0.831

Tabel 2.2 : Sistem klasifikasi ketahanlasakan didasarkan atas ratio disintegritas, D_R (Erguler dan Shakoor, 2009; ISRM, 2007)

Klasifikasi Ketahanlasakan	Siklus ke-2 Indeks ketahanlasakan, I_{sd_2} (%)	Ratio Disintegritas D_R (%)
Sangat rendah	0 - 30	0.00 - 0.19
Rendah	30 - 60	0.20 - 0.49
Sedang	60 - 85	0.50 - 0.78
Sedang-Tinggi	85 - 95	0.79 - 0.91
Tinggi	98 - 98	0.92 - 0.95
Sangat tinggi	98 - 100	0.96 - 1.00

Tabel 2.3 : Perubahan klasifikasi ketahananlasakan clay shale Hambalang akibat pelapukan dengan proses pengeringan serta siklus pembasahan dan pengeringan pada masa awal hingga 80 hari berdasarkan ISRM 2007 , Atlas I.M.,(2017)

Masa (hari)	Pengeringan		Siklus Pembasahan dan Pengeringan					
	D _R	Klasifikasi Ketahananlasakan	1 x rendaman / 8 hari		2x rendaman / 8 hari		3 x rendaman / 8 hari	
			D _R	Klasifikasi Ketahananlasakan	D _R	Klasifikasi Ketahananlasakan	D _R	Klasifikasi Ketahananlasakan
0	1.0000	Sangat Tinggi	1.0000	Sangat Tinggi	1.0000	Sangat Tinggi	1.0000	Sangat Tinggi
8	0.9998	Sangat Tinggi	0.9242	Tinggi	0.6922	Sedang	0.5757	Sedang
16	0.9990	Sangat Tinggi	0.6674	Sedang	0.5453	Sedang	0.3843	Rendah
24	0.9984	Sangat Tinggi	0.4762	Rendah	0.4144	Rendah	0.2117	Rendah
32	0.9980	Sangat Tinggi	0.3343	Rendah	0.3042	Rendah	0.1666	Sangat Rendah
40	0.9921	Sangat Tinggi	0.2869	Rendah	0.2219	Rendah	0.1471	Sangat Rendah
48	0.9890	Sangat Tinggi	0.2467	Rendah	0.2016	Rendah	0.1273	Sangat Rendah
64	0.9590	Tinggi	0.1732	Sangat Rendah	0.1547	Sangat Rendah	0.1123	Sangat Rendah
80	0.9162	Tinggi	0.1467	Sangat Rendah	0.1368	Sangat Rendah	0.0965	Sangat Rendah

Catatan : rendaman dalam air dalam masa 5 menit

2.2.7 Pengaruh Jenis Mineral Clay Shale Terhadap Ratio Disintegritas (D_R)

Disebabkan ukuran mineral Smektit adalah yang paling terkecil di dalam mineral lempung, maka suatu isi sampel yang sama memiliki permukaan tentu yang paling luas sehingga dapat menarik ion hidrogen lebih banyak (Mitchell dan Soga, 2005). Akibatnya pengembangan lempung yang banyak kadar mineral Smektit memiliki pengembangan dan sekaligus penyusutan yang besar juga. Penyusutan akibat pengeringan akan mengakibatkan banyak ion hidrogen keluar dari ruangan lompong, yang menyebabkan pecahnya ukuran lempung menjadi ukuran yang lebih kecil. Hal inilah yang menyebabkan ratio disintegritas (D_R) clay shale yang memiliki kadar Smektit lebih cepat berkurang ratio disintegritasnya akibat siklus pembasahan dan pengeringan.

Mineral Kaolinit dan Illit memiliki ukuran yang lebih besar bila dibandingkan dengan mineral Smektit. Oleh karenanya perilaku penyusutan dan pengembangan clay shale seperti clay shale Hambalang lebih kecil bila dibandingkan dengan clay shale Semarang-Bawen. Oleh yang demikian ratio disintegritas clay shale

Hambalang akibat proses pengeringan dan pembasahan yang sama akan lebih besar bila dibandingkan clay shale Semarang-Bawen.

Clay shale Hambalang juga memiliki kadar mineral Kuarsa yang cukup besar yaitu sebanyak 30%. Mineral Kuarsa telah dikenal pasti memiliki sifat yang dapat mengurangi penyusutan dan pengembangan bila terdapat dalam suatu komposisi lempung (Mitchell dan Soga 2005). Oleh karenanya, clay shale Hambalang memiliki ketahananlasakan yang lebih baik dari clay shale Semarang-Bawen.

Falidasi penjelasan ini juga disokong oleh penelitian perilaku dari 17 batuan lempung keras yang memiliki kadar Smektit, Kaolinit, Illit dan Kuarsa yang berbeda (Sadisun *et al.*, 2010). Sebanyak 17 sampel batuan lempung keras dengan variasi susunan komposisi mineralnya telah dibuat uji pembasahan dan pengeringan. Dalam penelitian ini pembahasan berkisar kepada pengaruh dari susunan komposisi mineral terhadap masa yang diperlukan pada masa sampel mulai hancur. Masa yang diperlukan pada proses pengeringan hingga sampel mulai hancur dilihat berbedabeda dan bergantung pada komposisi mineralnya seperti yang ditunjukkan dalam pada Tabel 2.5. Dengan masa rendaman yang sama, masa pengeringan setiap sampel adalah berbeda karena kadar mineral yang dimiliki oleh setiap sampel juga berbeda (Sadisun *et al.*, 2010).

Dari uji 17 sampel yang berbeda komposisi mineral tersebut, dibuktikan bahwa mineral Smektit yang dimiliki kod sampel SC-1, SC-2 dan SC-3 pada Tabel 2.4, mengakibatkan ia hancur dalam masa yang singkat bila terbuka dengan udara, yaitu dengan masa 12 jam hingga 24 jam saja. Seterusnya apabila direndam maka ia hancur lebih cepat lagi yaitu hanya 4 menit hingga 5 menit. Pengaruh dari kuantitatif mineral Kaolinit di dalam komposisi sampel dalam penelitian ini membuktikan bahwa semakin banyak kadar Kaolinit dalam komposisi sampel, maka semakin lambat ia hancur dila dibandingkan dengan yang mengandung Smektit apabila terbuka kepada udara ataupun bila direndam. Perkara ini dialami oleh sampel bertanda TE-1, TE-2, TE-3 dan TE-4 pada Tabel 2.4 (Sadisun *et al.*, 2010). Ringkasan dari komposisi mineral 17 sampel batuan lempung keras dan perilakunya terhadap ketahananlasakan dilihat semasa mulai hancur dapat dirujuk pada Tabel 2.4 dan 2.5.

Tabel 2.4 : Hasil semi kuantitatif dari data uji XRD: Q (kuarsa), P (plagioklas), Py (pirit), R (rutil), G (gypsum), C (kalsit), Si (siderit), I (illit) dan S (smektit) (Sadisun *et al.*, 2010)

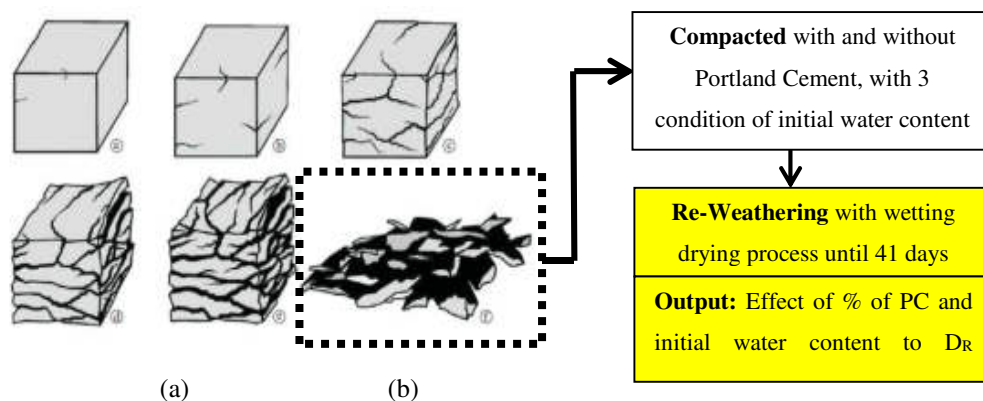
Sampel	Jenis Mineralogi										
	Q	P	Py	R	G	C	Si	K	I	Cl	S
IKS-1	24.94	13.08	10.29	6.78	-	-	-	11.11	16.46	-	5.60
IKS-2	22.59	14.54	11.02	4.73	-	-	-	13.01	18.39	Tr	4.37
IKS-3	24.69	12.65	11.08	6.28	-	-	-	12.66	16.82	Tr	7.81
OM-1	39.75	16.48	-	8.81	-	-	-	16.44	9.61	Tr	3.48
OM-2	37.99	14.91	-	10.35	-	-	-	17.84	8.87	Tr	3.62
OM-3	35.02	15.08	-	13.93	-	-	-	12.34	10.46	Tr	4.61
OM-4	39.20	15.31	-	9.58	-	-	-	15.88	9.69	Tr	3.25
OM-7	37.99	14.87	-	10.39	-	-	-	16.94	6.88	Tr	4.51
OM-8	48.01	3.12	-	12.80	-	-	-	17.32	9.42	Tr	2.67
OM-9	35.05	14.26	-	12.72	-	-	-	15.30	10.48	Tr	5.63
TE-1	31.24	2.16	25.70	-	-	-	-	25.43	2.11	-	Tr
TE-3	27.62	1.51	27.20	-	-	-	-	38.03	Tr	-	1.37
TE-2	39.51	2.87	17.03	-	-	-	-	31.40	6.91	-	2.05
TE-4	37.18	1.93	27.25	-	-	-	-	25.38	5.51	-	2.55
SC-1	25.03	13.78	5.22	-	4.03	-	-	12.51	-	-	39.43
SC-2	17.40	8.82	13.58	-	-	10.70	12.31	17.41	6.67	Tr	13.10
SC-3	14.60	8.91	12.70	-	6.87	-	-	20.51	6.62	-	29.79

Tabel 2.5 : Hasil dari ketahananlasakan pengeringan dan perendaman (Sadisun *et al.*, 2010)

Sampel	Waktu yang diperlukan untuk sampel awal ketahananlasakan	
	Pendedahan (hari)	Perendaman (jam)
IKS-1	55	17
IKS-2	92	31
IKS-3	42	13
OM-1	26	14
OM-2	4	2
OM-3	12	6
OM-4	31	11
OM-7	21	9
OM-8	35	13
OM-9	16	7
TE-2	9	3
TE-4	3	1
TE-1	2	1
TE-3	1	< 1 (30 min)
SC-1	<1, (12 hours)	< 1 (4 min)
SC-2	1	< 1 (5 min)
SC-3	1	< 1 (4 min)

2.2.8 Pelapukan Ulang Clay Shale

Sampel pelapukan ulang clay shale menunjukkan perilaku unik setelah pemadatan dengan variasi dalam penggunaan persentase semen portland dan kadar air yang berbeda. Secara umum, baik kadar air dan variabel persentase PC mempengaruhi proses pelapukan ulang clay shale. Proses pelapukan sampel clay shale Semarang-Bawen dan Hambalang yang diambil dari clay shale segar menjadi lapuk sepenuhnya dapat dilihat pada Gambar 2.11. Pelapukan diamati untuk perubahan fisik dari kedua clay shale asal dengan proses pembasahan dan pengeringan hingga 80 hari dengan 2 pembasahan (5 menit lelah) setiap 8 hari pengamatan. Pada hari ke-80, tampaknya seluruh clay shale telah sepenuhnya lapuk dengan D_R mendekati 0,000 (Alatas I. M., 2017). Ilustrasi pelapukan ulang dari clay shale dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Ilustrasi dari pelapukan pertama (a) hingga melapuk semuanya (b), dan dilanjutkan dengan pemadatan dan pengujian pengaruh pelapukan kedua dengan rasio disintegritas (D_R)

BAB 3

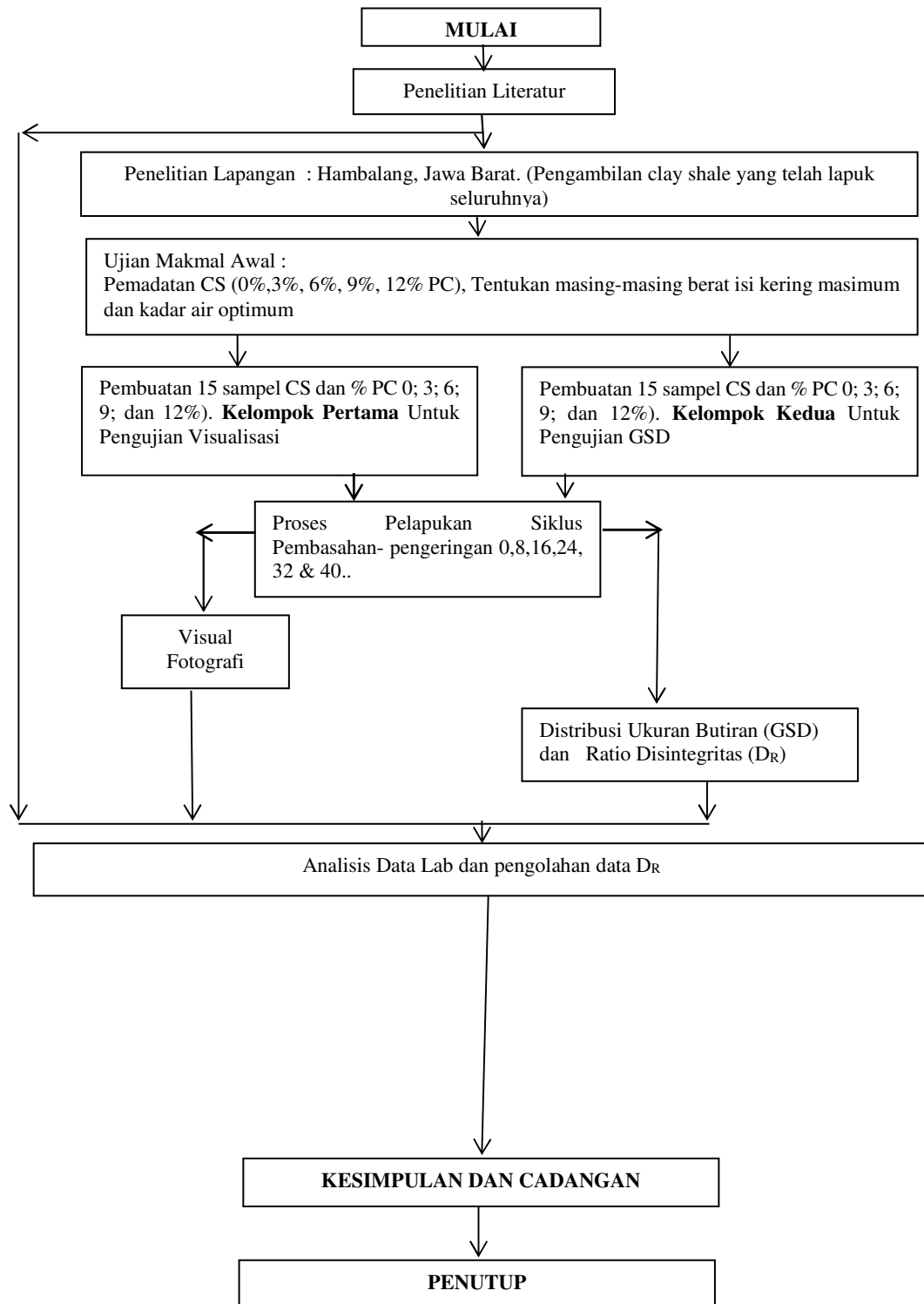
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Penelitian ini mengambil contoh clay shale dari Hambalang, dimana pada lokasi pengambilan sampel ini terdapat trase jalan jalur punak dua, sebagai jalur Bogor Puncak Cianjur yang sudah padat lalu lintasnya. Akan tetapi pekerjaan yang telah dimulai fisiknya tahun 2015 itu sampai saat ini tahun 2018, pekerjaannya terlihat terhenti, dan sistem perkerasan fleksibel yang telah dikerjakan pada jalur tersebut sudah terlihat rusak parah, meskipun jalur tersebut sejak dikerjakan tidak pernah dipakai untuk jalur lalu lintas pada umumnya. Atas kasus tersebut peneliti mencoba mengambil sampel clay shale dari sisi jalan yang sudah melapuk seluruhnya untuk dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian pemadatan dengan menambahkan prosentase portland cement, dan mengamati perubahan pelapukan selanjutnya,

3.2 Disain dan Diagram Alir Penelitian

Untuk mendapatkan suatu hasil penelitian yang diharapkan dapat menjawab problem statement di Bab 1, maka disusun disain dan diagram alir penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 3.1.



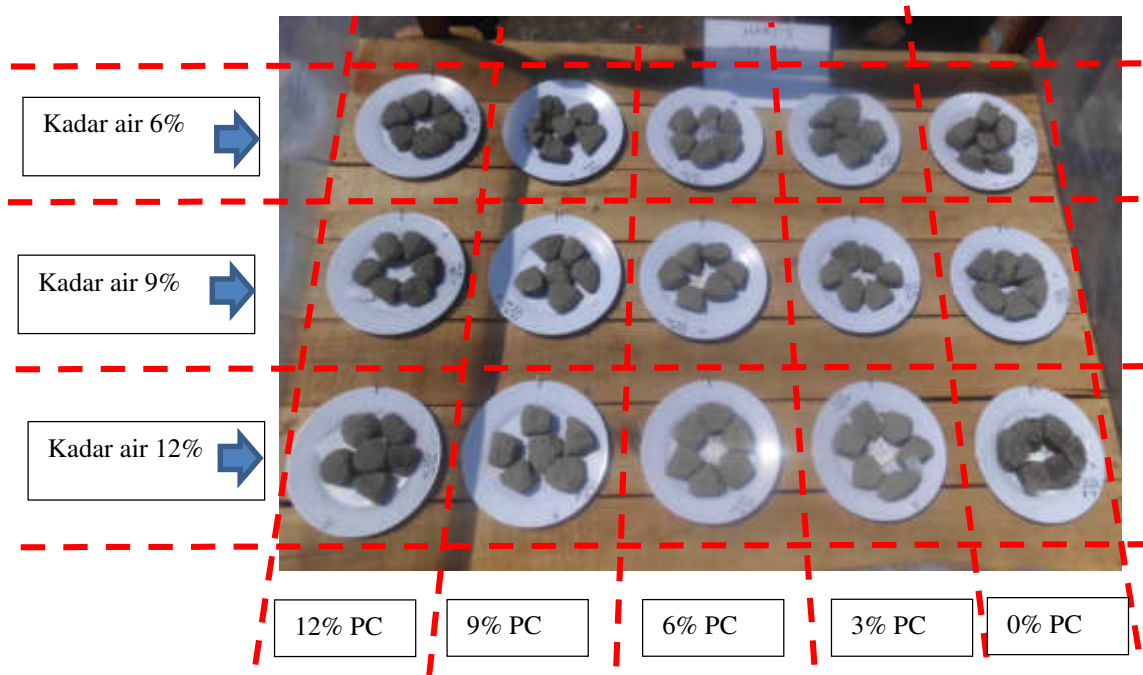
Gambar 3.1 Diagram alir kerja penelitian pelapukan ulang clay shale

3.2 Persiapan Sampel Uji

Sampel uji dipersiapkan dari pengujian pemadatan laboratorium clay shale yang telah melapuk seluruhnya dicampurkan dengan variasi prosentase portland cement. Variasi portland cement masing-masing diberikan sebesar 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC terhadap berat kering clay shale. Setiap campuran PC dan clay shale masing-masing diambil tiga sampel. Pertama sampel dengan kadar air optimum (w_{opt}), kedua sampel dengan kadar air lebih kecil dari kadar air optimum dan ketiga sampel lebih besar dari kadar air optimum. Sampel dipersiapkan sebanyak 15 sampel, yang terdiri dari sampel 0%, 6%, 9%, dan 12% PC, dan setiap masing-masing prosentase PC tersebut dibuat dengan kadar air 6% (lebih kecil dari w_{opt}), 9% (sama seperti w_{opt}) dan 12% (lebih besar dari w_{opt}). Tabel 3.1 adalah ringkasan dari persiapan sampel clay shale dengan variasi prosentase PC dan variasi kadar air. Penempatan sampel uji pada persiapan pelapukan dengan proses basah kering dengan jadwal pembasahan dan pengeringan seperti pada Tabel 3.2. Gambar 3.2 memperlihatkan persiapan sebanyak 15 sampel dalam cawan di hari pertama yang siap dilakukan siklus basah kering. Sampel-sampel tersebut dibuat menjadi 2 kelompok, dimana kelompok 15 sampel yang pertama adalah untuk tujuan pengambilan secara visual perubahan bentuk sampel akibat siklus pembasahan dan pengeringan. Dan sampel 15 kelompok kedua adalah sampel yang diuji perubahan gradasi butirannya akibat siklus pembasahan dan pengeringan yang selanjutnya dicari rasi disintegritasnya (D_R).

Tabel. 3.1 Sejumlah 15 sampel dengan variasi kondisi kadar air dan prosentase PC

Kadar air Sampel	Prosentase penambahan portland cement				
	0%	3%	6%	9%	12%
6% ($< w_{opt}$)	v	v	v	v	v
9% ($= w_{opt}$)	v	v	v	v	v
12% ($> w_{opt}$)	v	v	v	v	v



Gambar 3.2. Sebanyak 15 uji visual sampel di hari pertama untuk diuji perubahan gradasi akibat proses siklus pembasahan dan pengeringan selama 41 hari.

3.3. Jadwal Pembasahan dan Pengeringan

Setelah sampel clay shale dan variasi masing masing portland cement dipadatkan, maka sampel pada cawan dilakukan pengujian perubahan ukuran butiran dengan GSD (Grained Size Distribution) dengan akibat siklus pembasahan dan pengeringan seperti jadwal pada Tabel 3.2 berikut, diman setiap empat hari sekali selama 5 menit dilakukan pembasahan, dan dilanjutkan pengeringan selama 4hari sebelum diuji GSD. Proses ini dilakukan hingga siklus ke 9 atau pada hari ke 41. Pada kelompok 15 sampel yang kedua masing masing sampel diuji GSD pada setiap hari masingmasing di hari ke 0; 9; 13; 17; 21; 25; 29; 33; 37; dan 41, dan pada hari ke 41 tersebut diambil pengambilan gambar terakhir perubahan bentuk gradasi akibat 9 siklus tersebut

Tabel 3.2. Jadwal pembasahan dan pengeringan clay shale Hambalang lapuk untuk keperluan pelapukan ulang

Aktivitas	Hari																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Drying	←	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	→
Wetting*)					*)				*)				*)				*)				*)	
Activity	Hari																					
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41		
Drying	←	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	→
Wetting*)				*)				*)				*)				*)				*)		

Catatan : *) 5 minutes soaked samples and continuing with drying process

In the day of 9, 13, 17, 21, 25, 29, 33, 39 and 41, Disintegration test by GSD and taking pictures samples were done before soaked samples

3.4 Penelitian Geologi

Penelitian geologi dilakukan pada lokasi Hambalang Jawa Barat dan Semarang-Bawen Jawa Tengah. Penelitian geologi kawasan ini dan sekitarnya adalah termasuk pada lembar Bogor yang berskala 1:100,000 daripada lembar geologi Indonesia (Effendi, 1974). Daerah Hambalang terletak di hujung timur lembar Bogor. Batuan yang tertua di sekitar Gunung Hambalang adalah formasi Jatiluhur yang terdiri atas *Marl* dan serpihan lempung, dan lapisan-lapisan tipis batu pasir Kuarza. Di lokasi penelitian, formasi batuan ini yang berpa lempung dan serpihan kecoklatan dan kelabu terbuka. Pada bagian atas formasi Jatiluhur terdapat secara tidak jangkelevasi dengan breksia dan lava dari Gunung Kencana dan Gunung Limo. Pada kelompok batuan ini terdapat bongkah batuan andesit tuf dan andesit breksia. Kelompok batuan terdapat dari puncak Gunung Hambalang (630 m) menyebar ke arah belakang pergunungan ke barat laut. Kelompok batuan yang terawal adalah mendapan permukaan yang terdapat pada lembah-lembah atau sekitar sungai Cijere, Cicarigil dan Cileungsi. Pada kawasan Gunung Hambalang dan sekitarnya terdapat sesar dan struktur *anticline*. Sesar ini telah mengakibatkan terjadi gelongsoran yang merosakkan jalan dan bangunan perumahan yang terletak di sebelah jangkatan Gunung Hambalang. Peta geologi kawasan Hambalang dan sekitarnya dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.3 Keadaan *Physiographic* Regional Pulau Jawa dan Madura (Van Bemmelen, 1970)

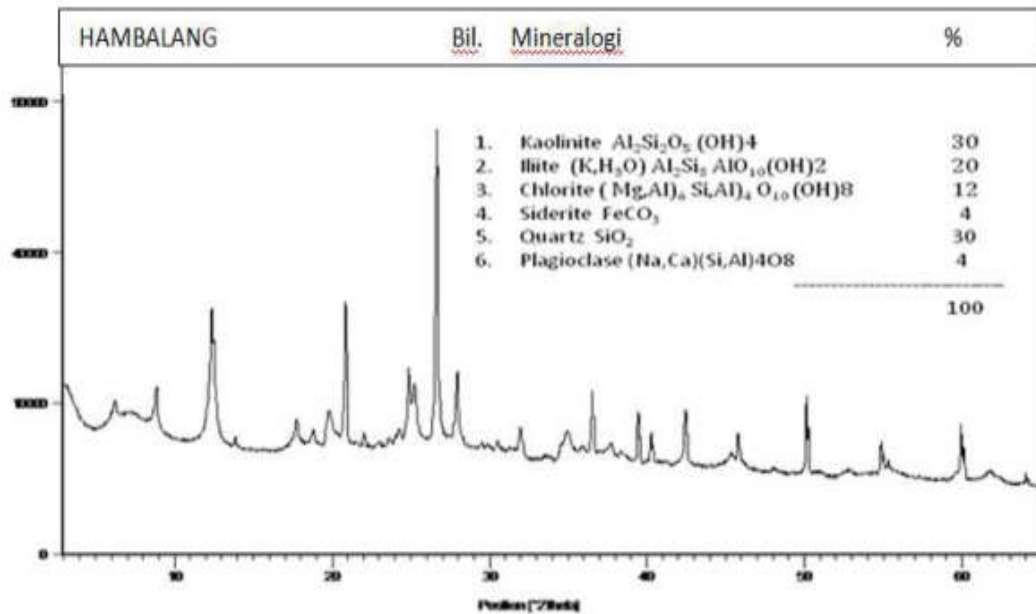


Gambar 3.4 Peta geologi Hambalang, Jawa Barat dan sekitarnya (Effendi A, 1974; Thanden *et al.*, 1996)

3.5 Mineralogi dan Scanning Mikrolingkup Electron (SEM)

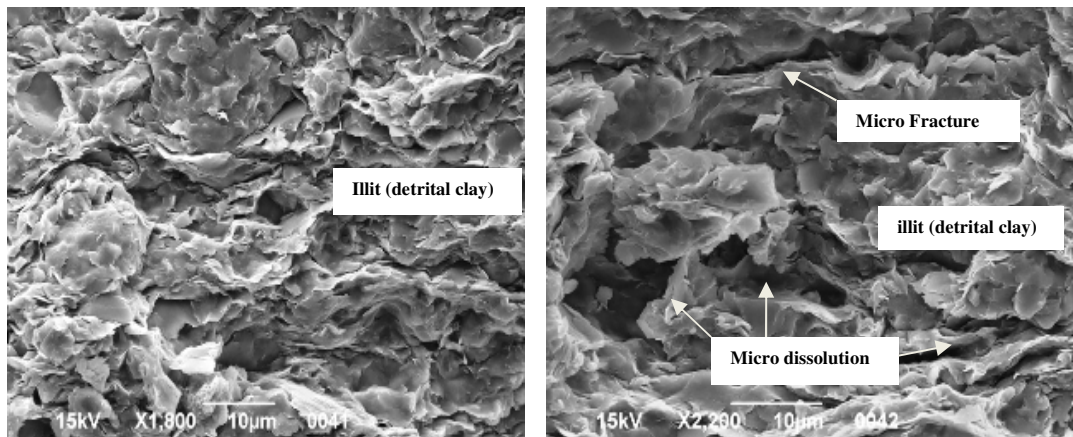
Untuk mengetahui keadaan yang lebih terperinci dari clay Hambalang, maka ujian mineralogi dengan *X-Ray Defraction* serta scanning mikroskopik elektron (SEM) dilakukan. Ujian mineralogi dari kedua sampel clay shale menunjukkan kualiti serta kuantiti yang berbeda. Di dalam clay shale Hambalang mineral utama adalah

30% Kaolinit dan 20% Klorit. Pada clay shale Hambalang adalah Siderit hanyalah sebanyak 6% . Hasil ujian XRD clay shale dapat dilihat pada Gambar 3.5 serta Tabel 3.3 yang menyatakan kadar mineral kedua-dua clay shale.



Gambar 3.5 Hasil ujian mineralogi clay shale Hambalang dengan XRD (LEMIGAS, 2015)

Gambar 3.6 menunjukkan hasil uji pengimbasan mikroskoping elektron (SEM) dari lempung Hambalang. Pada gambar tersebut dilihat bahwa dengan skala pembesaran yang lebih kecil yaitu pembesaran 1,800X dan 2,200X, mineral Illit jelas kelihatan.



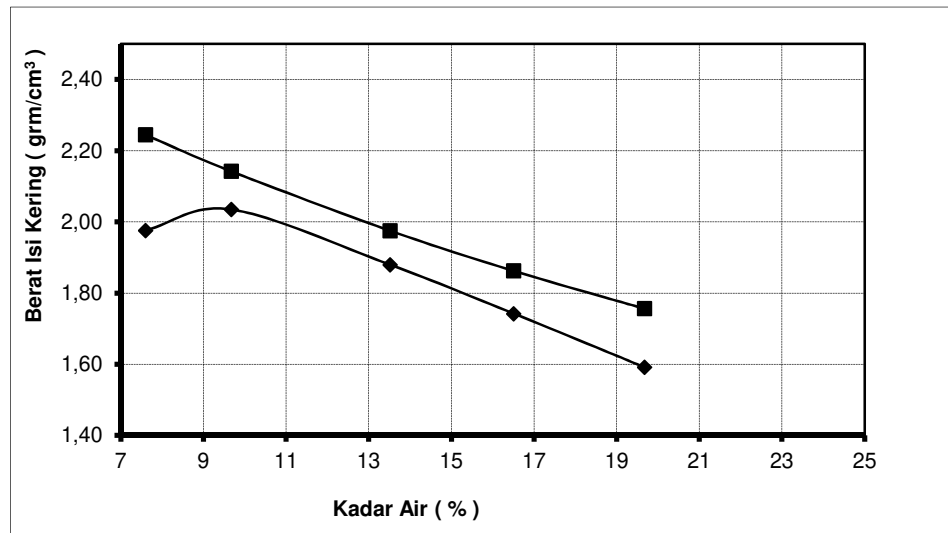
Gambar 3.6 Hasil scanning elektro magnetik (SEM) clay shale Hambalang dengan pembesaran 1,800X dan 2,200X (LEMIGAS, 2015)

Tabel 3.3 : Kadar mineral clay shale Hambalang (LEMIGAS, 2015)

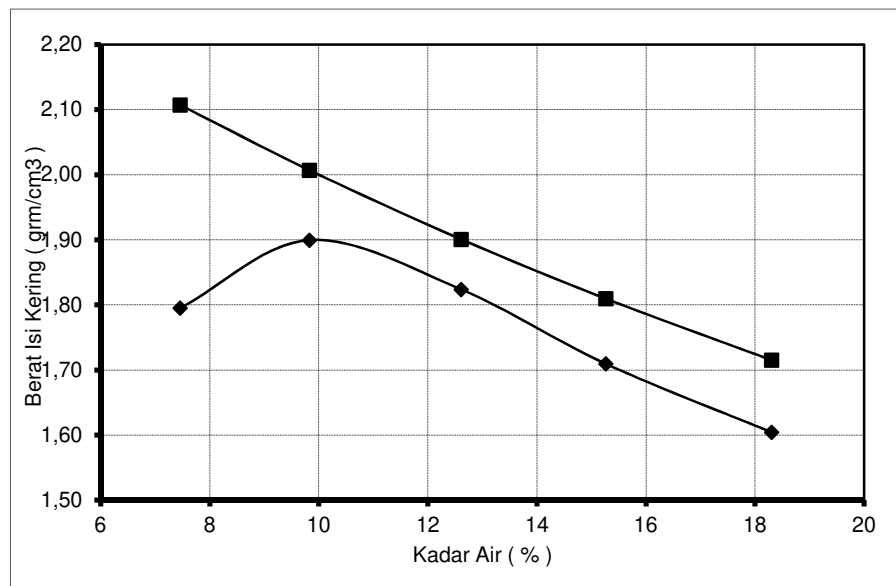
LOKASI	MINERAL LEMPUNG (%)				JUMLAH (%)
	Smektit	Illit	Kaolinit	Klorit	
Hambalang	-	12	30	20	62
	MINERAL KARBONAT (%)				JUMLAH (%)
	Kalsit	Dolomit	Siderit	-	
Hambalang	-	-	4	-	4
	MINERAL LAIN-LAIN (%)				JUMLAH (%)
	Kuarza	K-Feldspar	Plagioklas	Pirit	
Hambalang	30	-	4	-	34

3.6 Hasil Uji Pematatan Clay Shale Lapuk Dengan Penambahan Prosentase Portland Cement

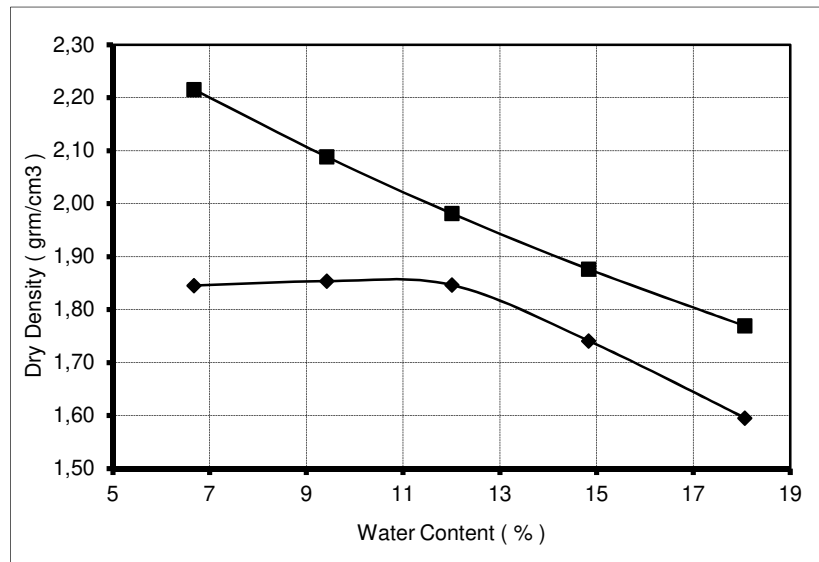
Pematatan laboratorium modified berdasarkan standard ASTM telah dilakukan pada clay shale lapuk yang masing masing ditambah dengan 0%, 3%, 6%, 9%, dan 12% Portland Cement. Prosentase pemakaian portland cement tersebut berdasarkan berat kering clay shale lapuk. Hasil uji pematatan laboratorium tersebut dapat dilihat masing masing pada Gambar 3.7 sampai dengan Gambar 3.11 berikut.



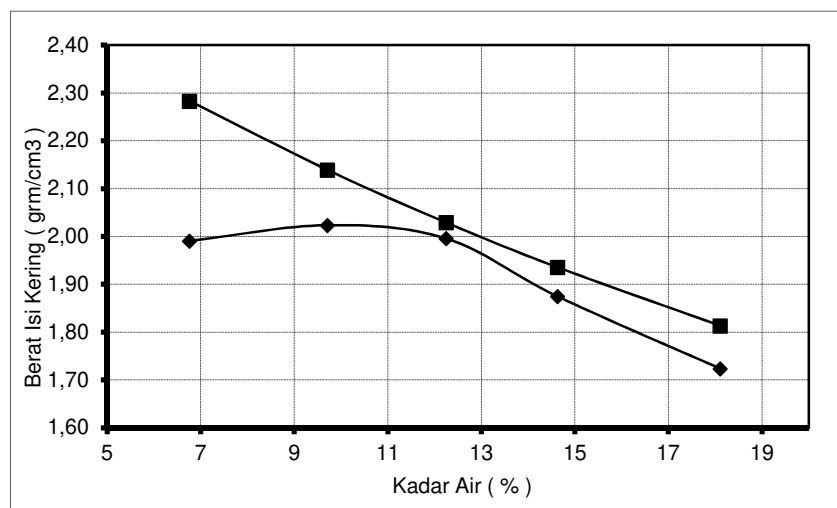
Gambar 3.7 Hasil pemadatan clay shale Hamalang lapuk dengan 0% PC



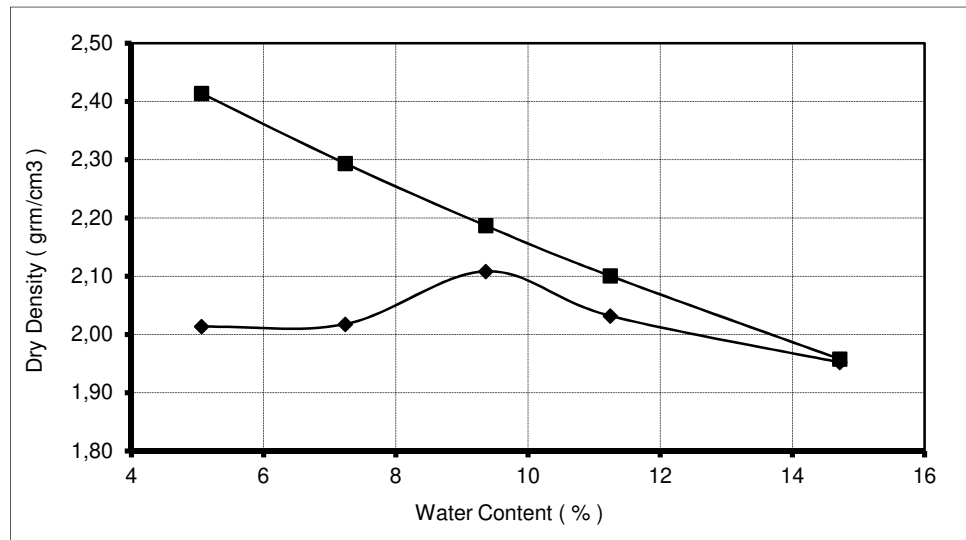
Gambar 3.8 Hasil pemadatan clay shale Hamalang lapuk dengan 3% PC



Gambar 3.9 Hasil pemadatan clay shale Hamalang lapuk dengan 6% PC



Gambar 3.10 Hasil pemadatan clay shale Hamalang lapuk dengan 9% PC



Gambar 3.11 Hasil pemadatan clay shale Hamalang lapuk dengan 12% PC

Tabel 3.4 Ikhtisar hasil pemadatan laboratorium clay shale lapuk dengan penambahan % portland cement.

Hasil Pemadatan Laboratorium	Prosentase Penambahan Portland Cement				
	0% PC	3% PC	6% PC	9% PC	12% PC
Kadar Air Optimum (wopt) in %	10.00	10.00	11.00	11.00	9.50
Berat isi kering maximum in t/m ³	2.04	1.90	1.85	2.02	2.10

BAB 4

HASIL PELAPUKAN ULANG CLAY SHALE HAMBALANG

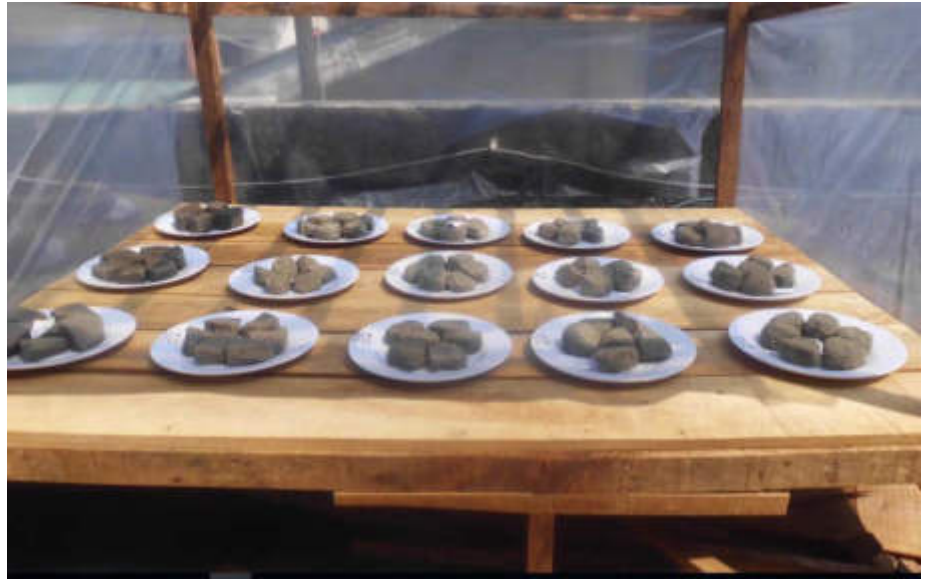
4.1 Pendahuluan

Pelapukan kembali clay shale Hambalang yang telah dipadatkan dengan dan tanpa tambahan portland cement, dilakukan disuatu tempat pada lantai atap bangunan laboratorium mekanika tanah ISTN. Ruangan khusus dibuat dengan plastik transparan agar supaya cahaya matahari tetap dapat memberikan pengeringan pada sampel, akan tetapi air hujan tidak dapat masuk ke ruangan tersebut seperti pada Gambar 4.1. Sampel dibuat menjadi 2 kelompok, masing-masing kelompok dengan 0% PC, 3% PC, 6% PC, 9% PC, dan 12% PC yang masing-masing dibuat dengan kadar air 6%, 9% dan 12%, sehingga total dalam satu kelompok menjadi 15 sampel. Sampel kelompok pertama hanya dilakukan siklus pembasahan dan pengeringan pada jadwal yang telah ditentukan bersama dengan sampel kelompok kedua, dan diamati secara visual dengan pengambilan foto setiap setelah perendaman 5 menit dilakukan sesuai Tabel 3.2 berupa jadwal siklus pembasahan dan pengeringan.

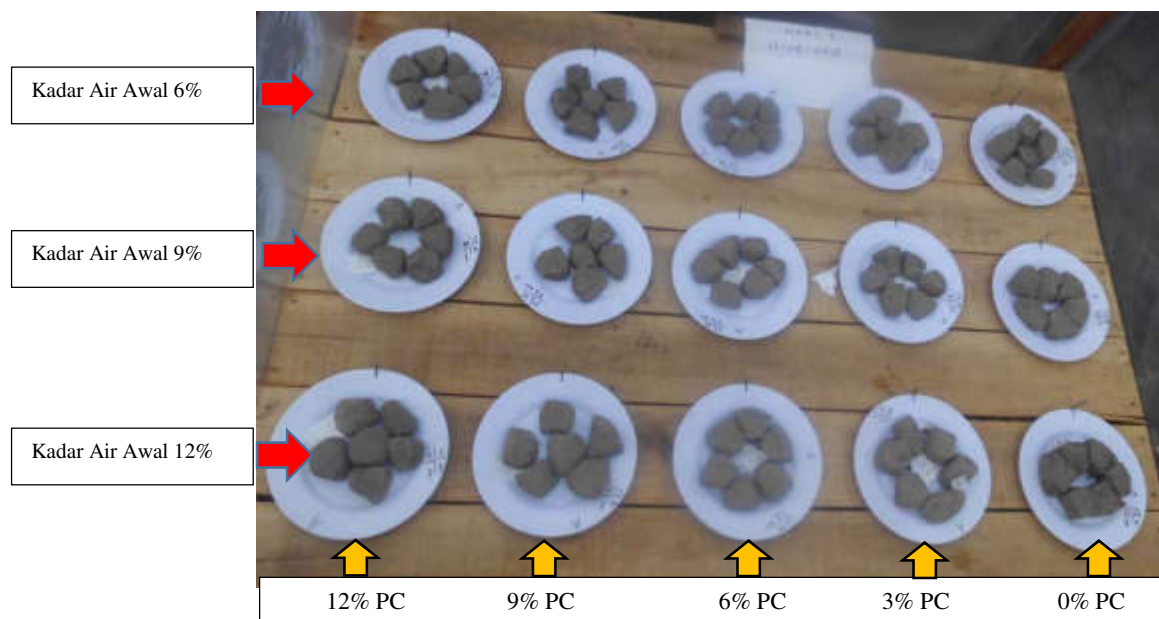
Pada sampel kelompok kedua, pada jadwal yang telah ditentukan diuji perubahan ukuran butirannya akibat pelapukan dengan Analisa Ayakan. Kemudian dilanjutkan dengan menggambarkan grafik kumulatif tertahan dengan ukuran butirannya pada masing masing sampel tersebut. Gambar perubahan bentuk butirannya dapat dilihat pada Gambar 4.2 sampai dengan Gambar 4.12.

4.2 Pengamatan Perubahan Pelapukan Akibat Siklus Pembasahan dan Pengeringan

Pengamatan perubahan pelapukan clay shale Hambalang, dilakukan sesaat sebelum perendaman dilakukan. Dari Gambar 4.2 hingga 4.12 terlihat gambar dengan jelas bahwa semakin sedikit % PC dan yang tanpa dicampur dengan PC, sampel terlihat lebih cepat terdegradasi atau melapuk. Sampai dengan sebelum hari ke-9, dimana belum dilakukan perendaman, perubahan sampel tidak terlalu signifikan, seperti dapat dilihat pada Gambar 4.3, dimana sampel masih seperti sedia kala seperti pada Gambar 4.2.



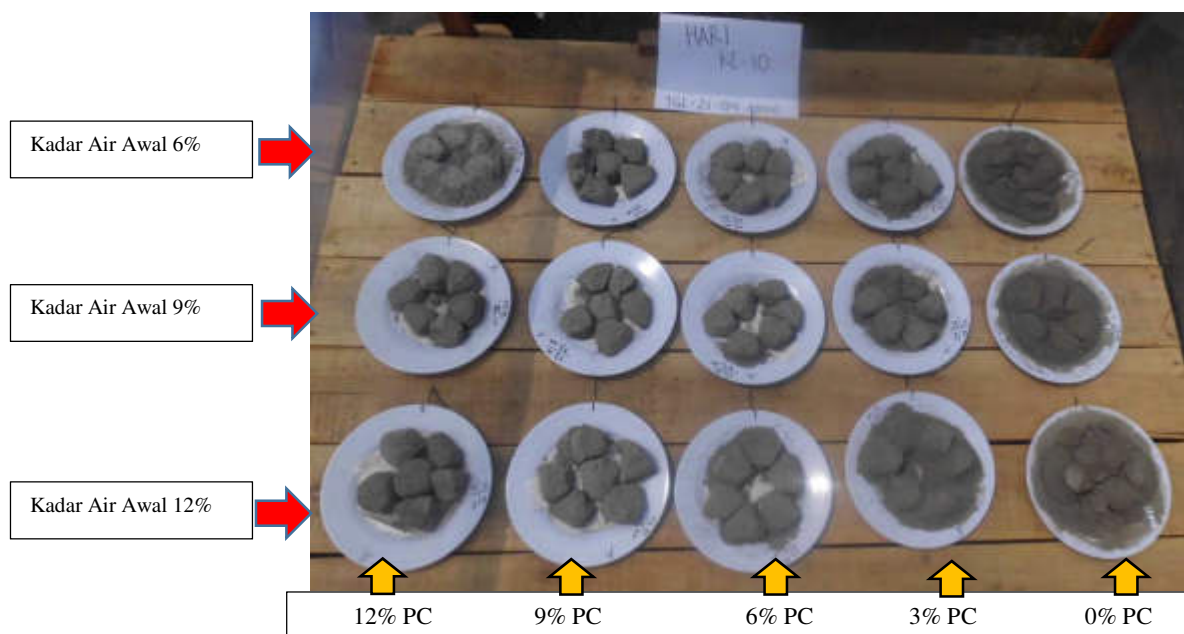
Gambar 4.1 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC dalam ruang pengeringan



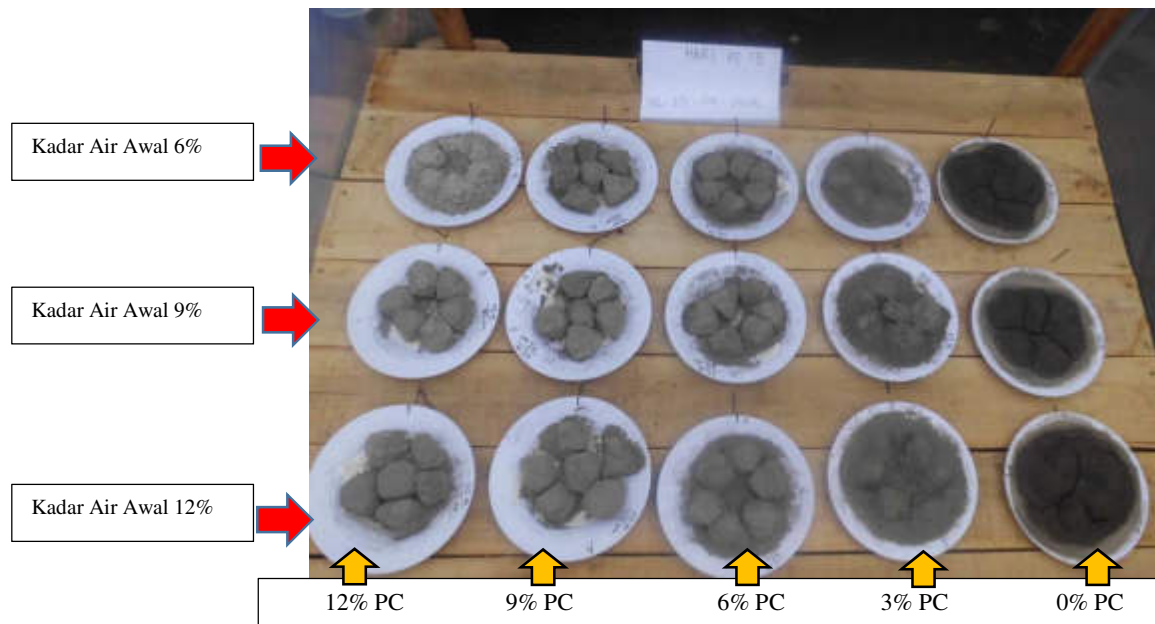
Gambar 4.2 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 4 pengeringan



Gambar 4.3 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 9 pengeringan



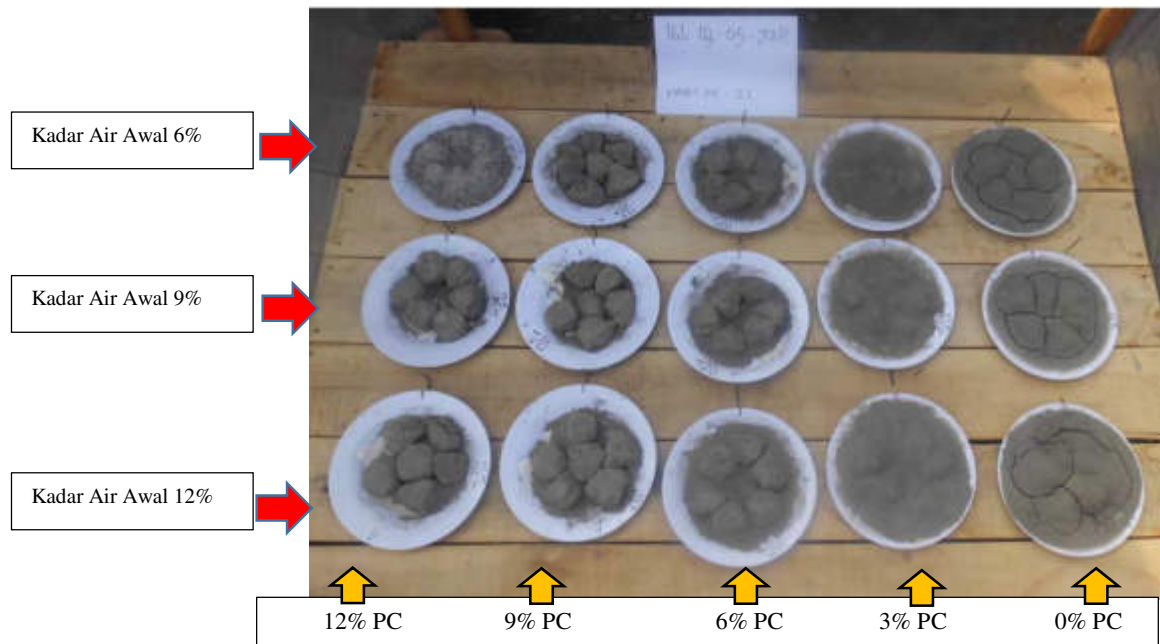
Gambar 4.4 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 10 pengeringan (1x siklus pembasahan)



Gambar 4.5 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 13 pengeringan (2x siklus pembasahan)



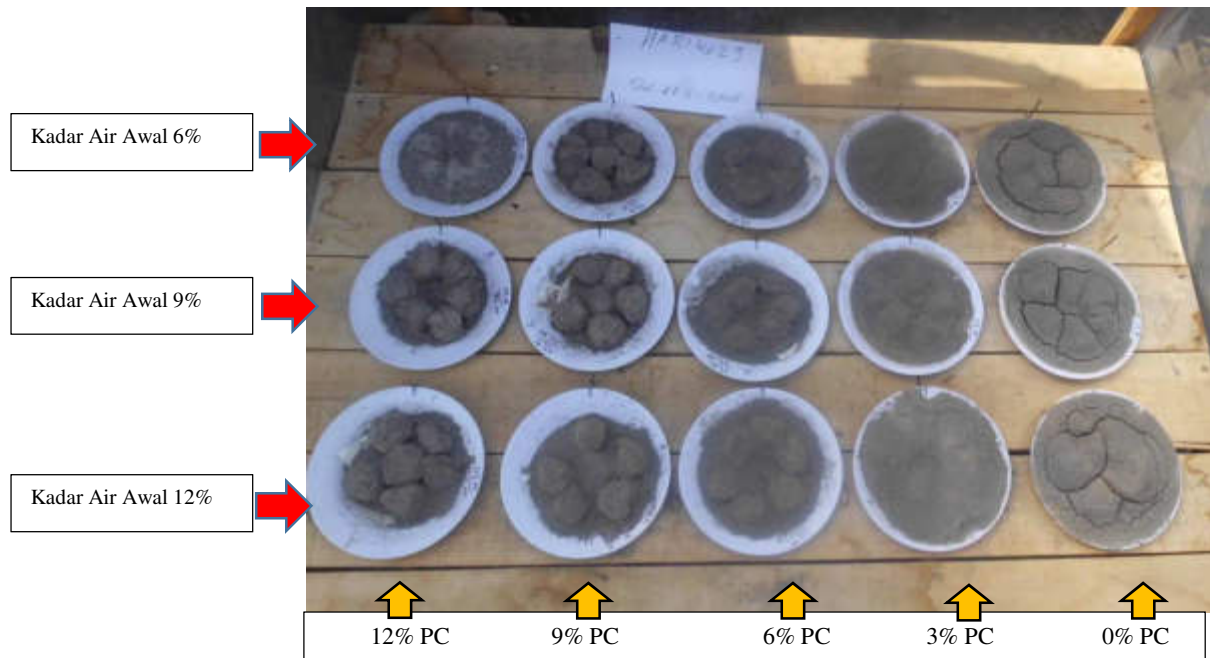
Gambar 4.6 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 17 pengeringan (3x siklus pembasahan)



Gambar 4.7 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 21 pengeringan (4x siklus pembasahan)



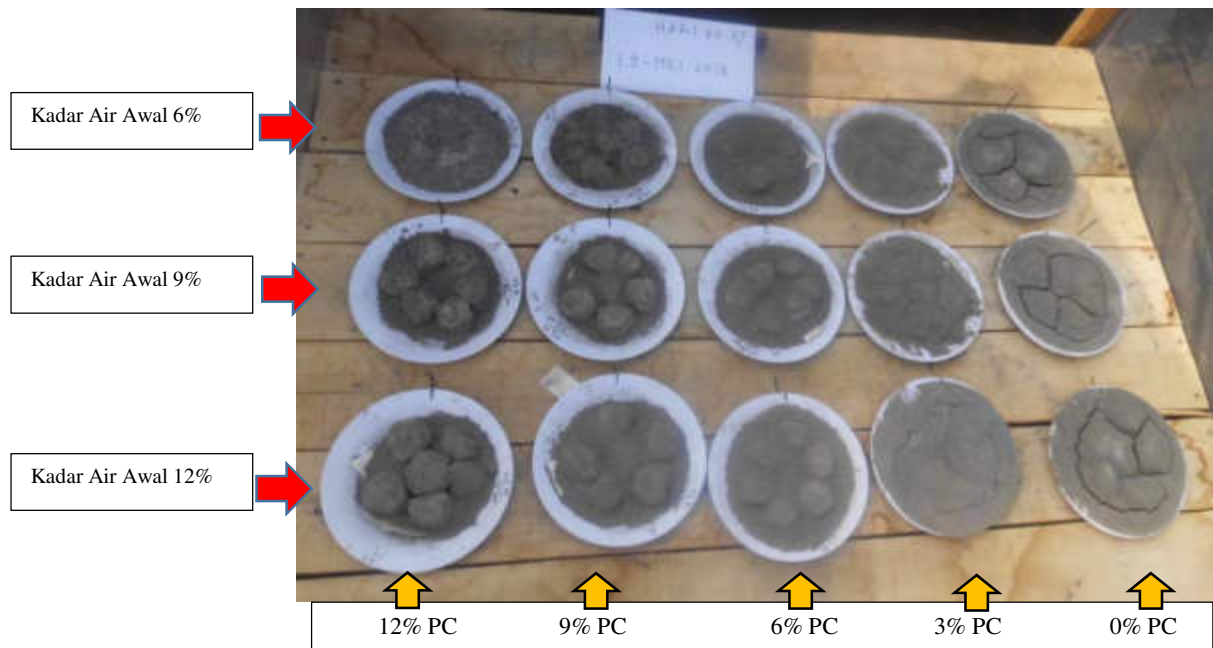
Gambar 4.8 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 25 pengeringan (5x siklus pembasahan)



Gambar 4.9 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 29 pengeringan (6x siklus pembasahan)



Gambar 4.10 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 33 pengeringan (7x siklus pembasahan)



Gambar 4.11 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 37 pengeringan (8x siklus pembasahan)

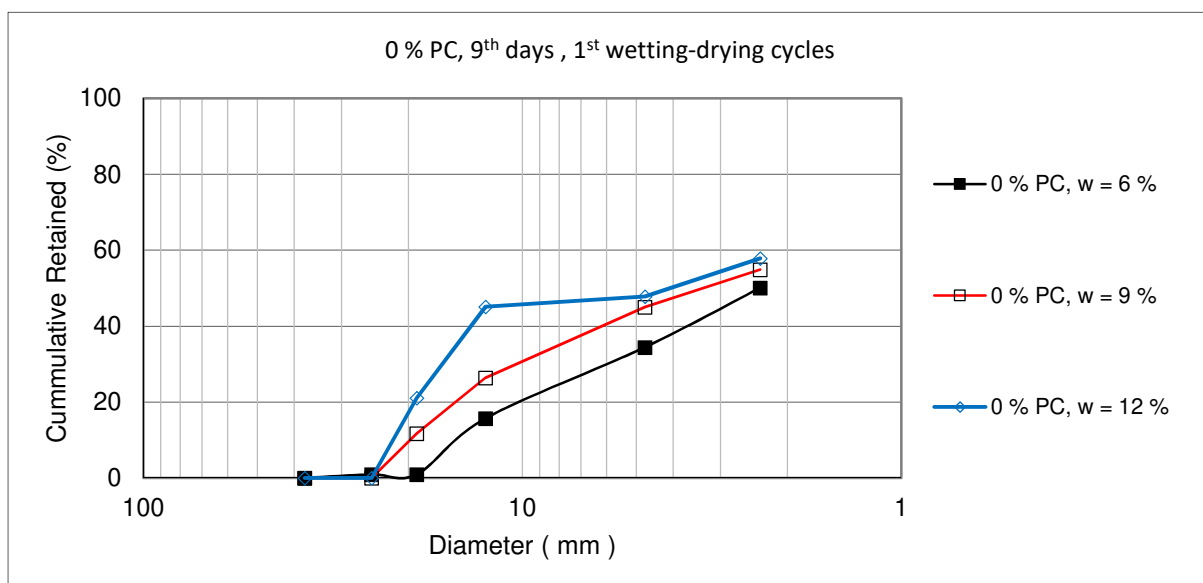


Gambar 4.12 Sampel clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan variasi 3 kadar air dan tambahan 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% PC hari ke 41 pengeringan (9x siklus pembasahan)

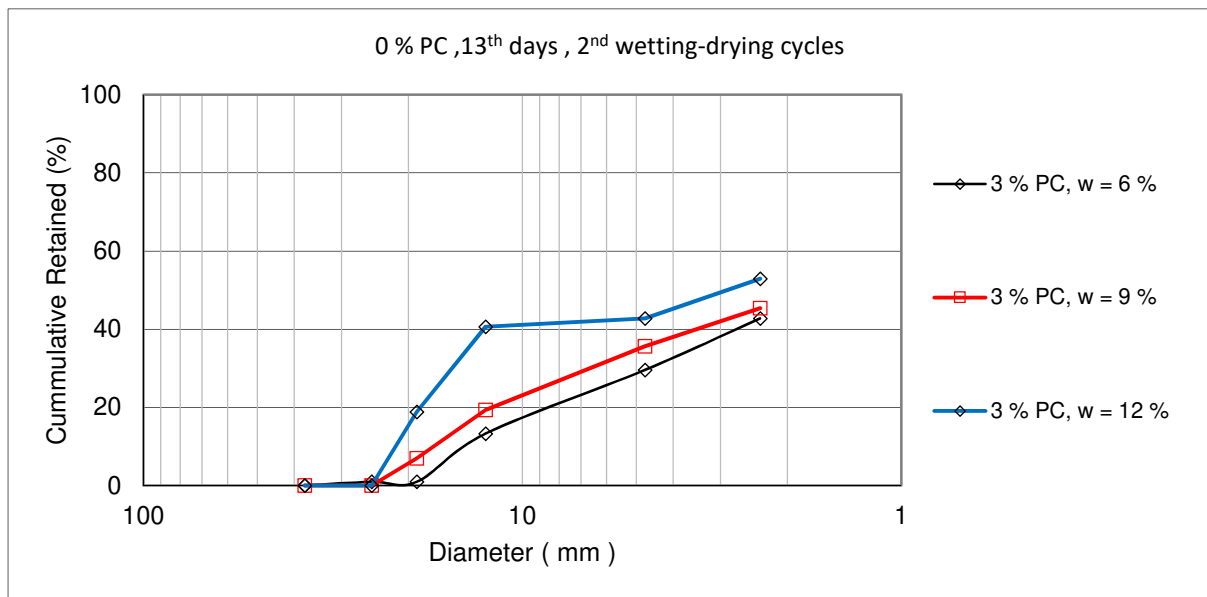
4.3 Perubahan Gradasi Clay Shale Hambalang Pada Pelapukan Ulang Tanpa Portland Cement

Akibat pelapukan ulang setelah dipadatkan kembali tanpa dan dengan tambahan portland cement, menunjukkan perilaku yang berbeda tingkat kecepatannya. Dengan menambahkan portland cement pada clay shale lapuk sebelum dipadatkan, menunjukkan adanya tambahan kemampuan campuran clay shale untuk melapuk dibandingkan tanpa menggunakan portland cement. Tanpa ditambahkan portland cement, clay shale Hambalang lapuk dapat mudah melapuk kembali. Pada Gambar 4.13 terlihat bahwa dengan tanpa menambahkan portland cement, clay shale Hambalang melapuk lebih dari 50% setelah melewati siklus perendaman pertamanya. Bahkan akan melapuk lebih cepalagi dan hanya maximum 20% setelah melewati perendaman pada siklus yang ke empat di hari ke-21 seperti dapat dilihat pada Gambar 4.16.

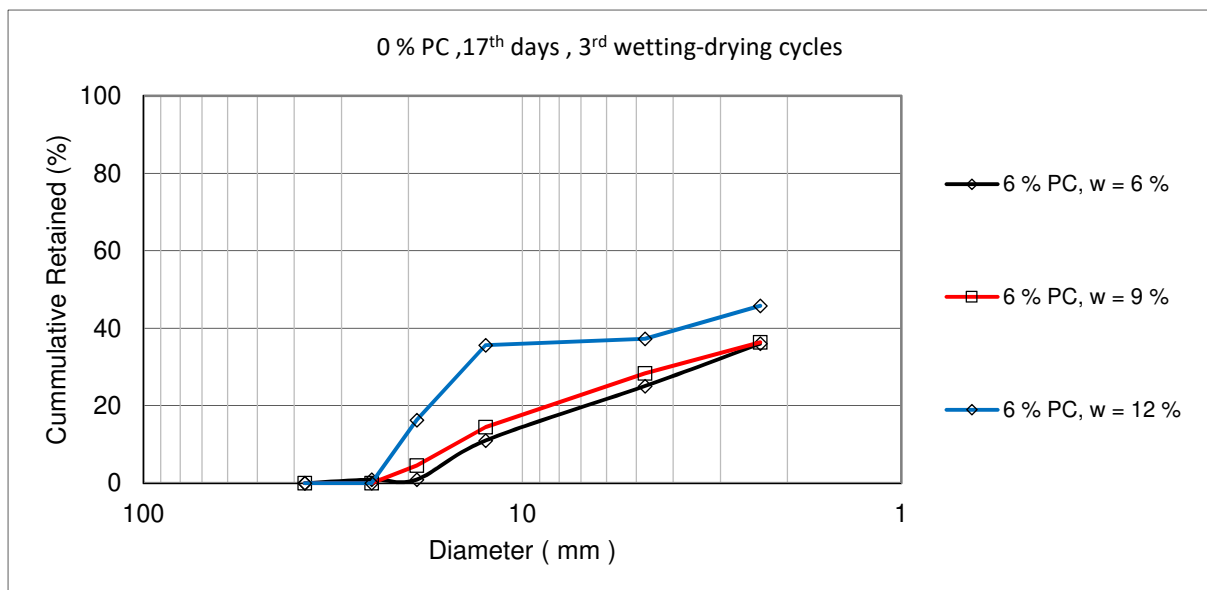
Perubahan grafik komulatif tertahan dengan ukuran butiran clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang tanpa portland cement hingga siklus ke-9 atau dihari ke-41 perubahan grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.13 tanpa tambahan % PC sampai dengan Gambar 4.21 dengan tambahan 12% PC. Dimana mulai siklus ke 5 tanah clay shale Hambalang yang belum melapuk tinggal 10% seperti pada Gambar 4.17. ada siklus ke-9 hampir semua partikel clay shale Hambalang telah melapuk semuanya. Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 12% lebih tahan, dibanding dengan kadar air 9%. Dan sampel dengan kadar air 9% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 6%.



Gambar 4.13 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus pertama hari ke-9 dengan 0% PC

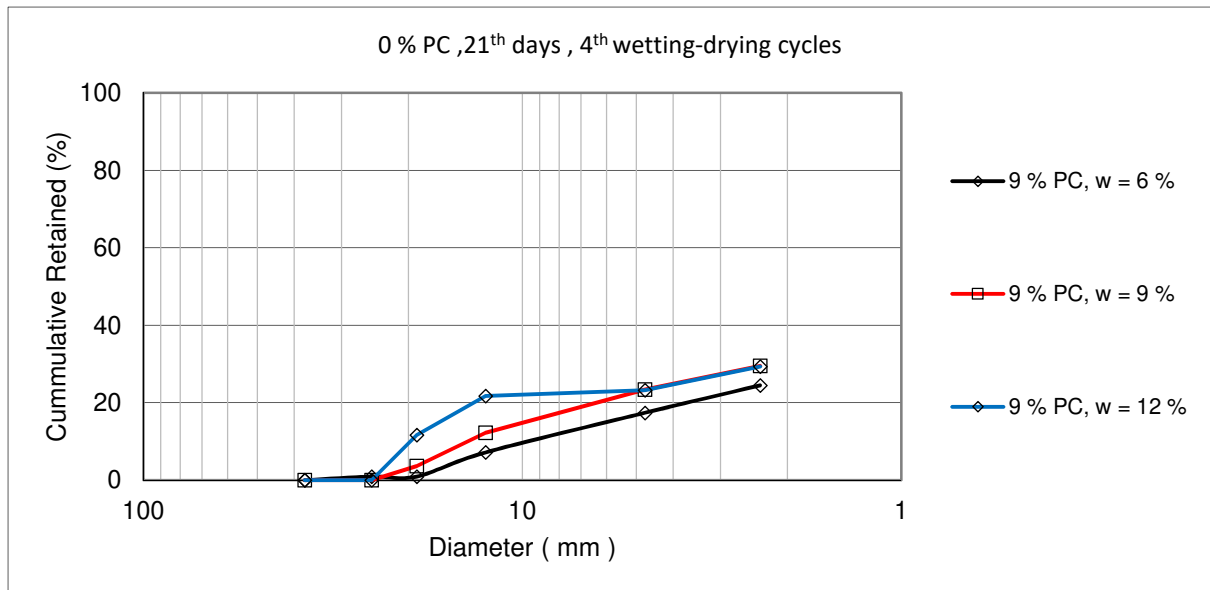


Gambar 4.14 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedua hari ke-13 dengan 0% PC

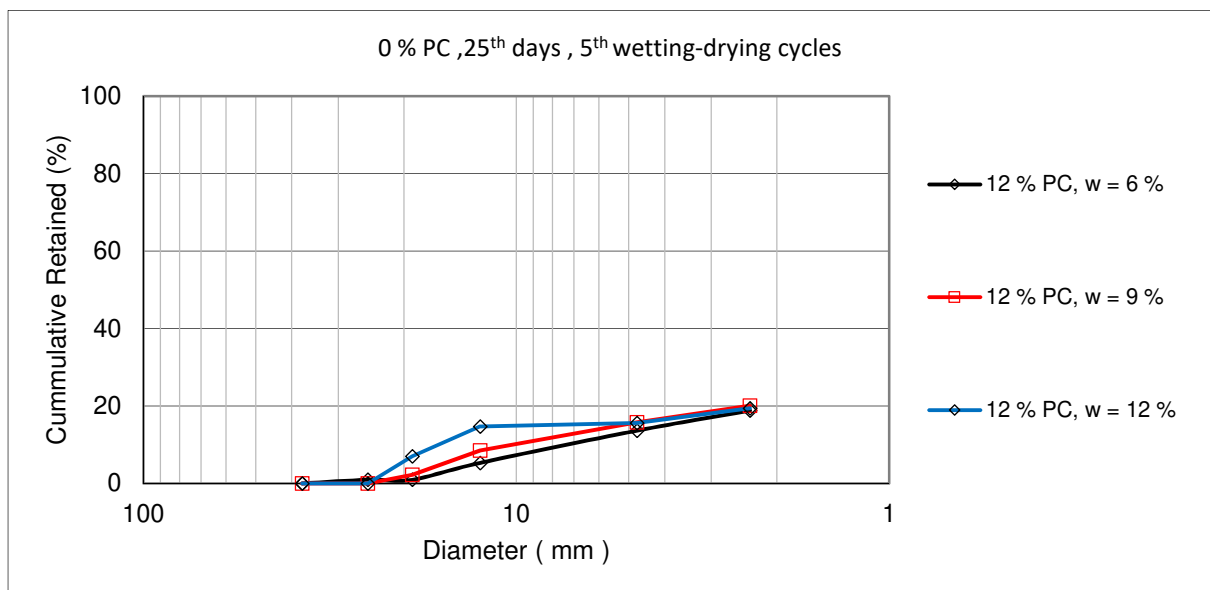


Gambar 4.15 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketiga hari ke-17 dengan 0% PC

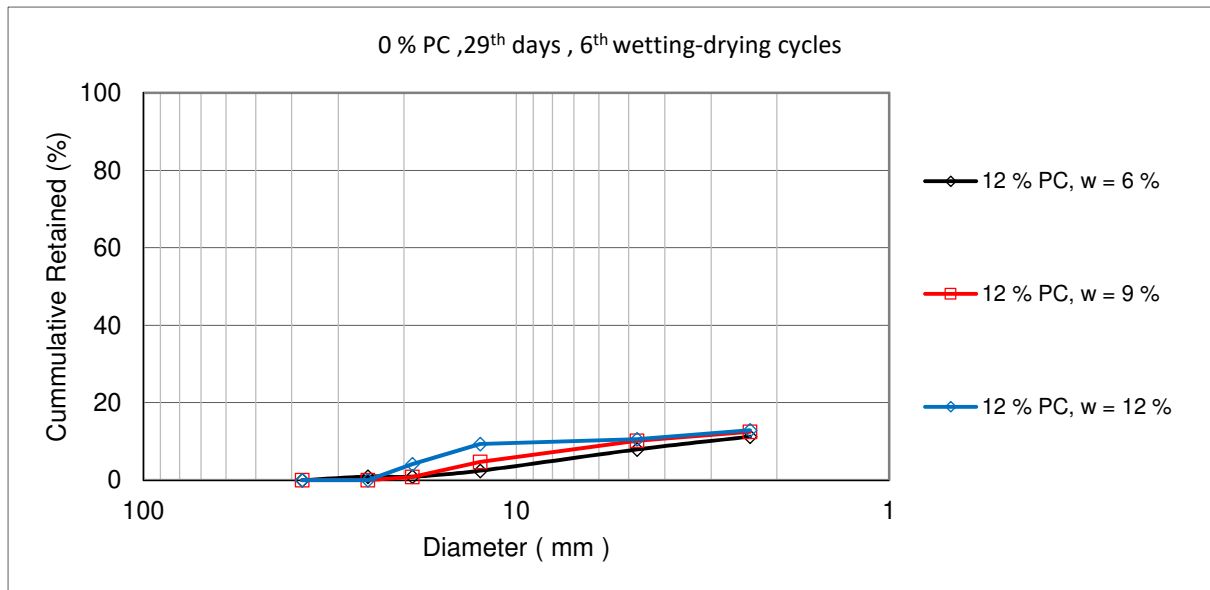
Dengan tidak ditambahkan prosentase portland cement, maka sampel yang dipadatkan dengan kadar air lebih besar 3% dari kadar air optimumnya, akan lebih tahan terhadap pelapukan samapaipai siklus ke-9 dibandingkan dengan kadar air optimum maupun yang lebuah kecil dari kadar air optimum.



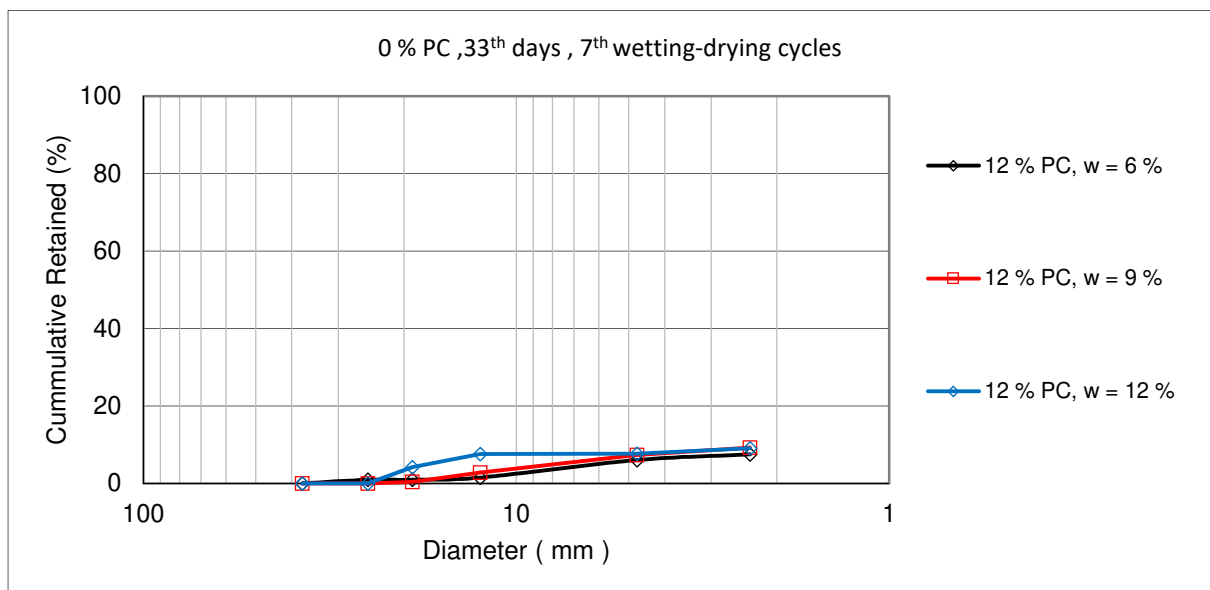
Gambar 4.16 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keempat hari ke-21 dengan 0% PC



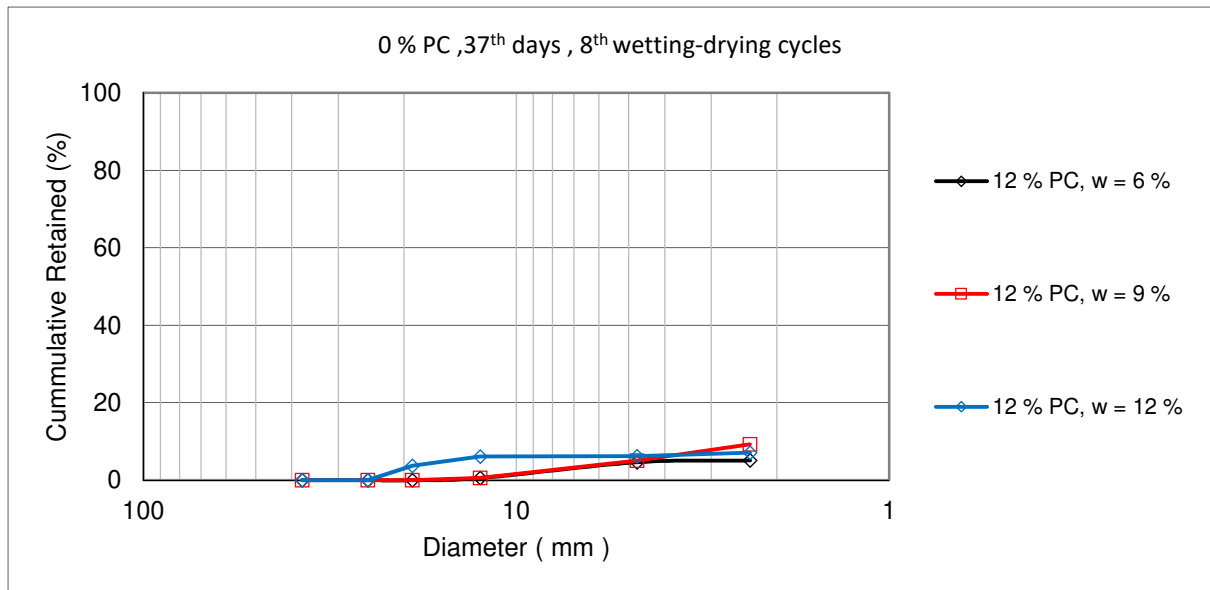
Gambar 4.17 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kelima hari ke-25 dengan 0% PC



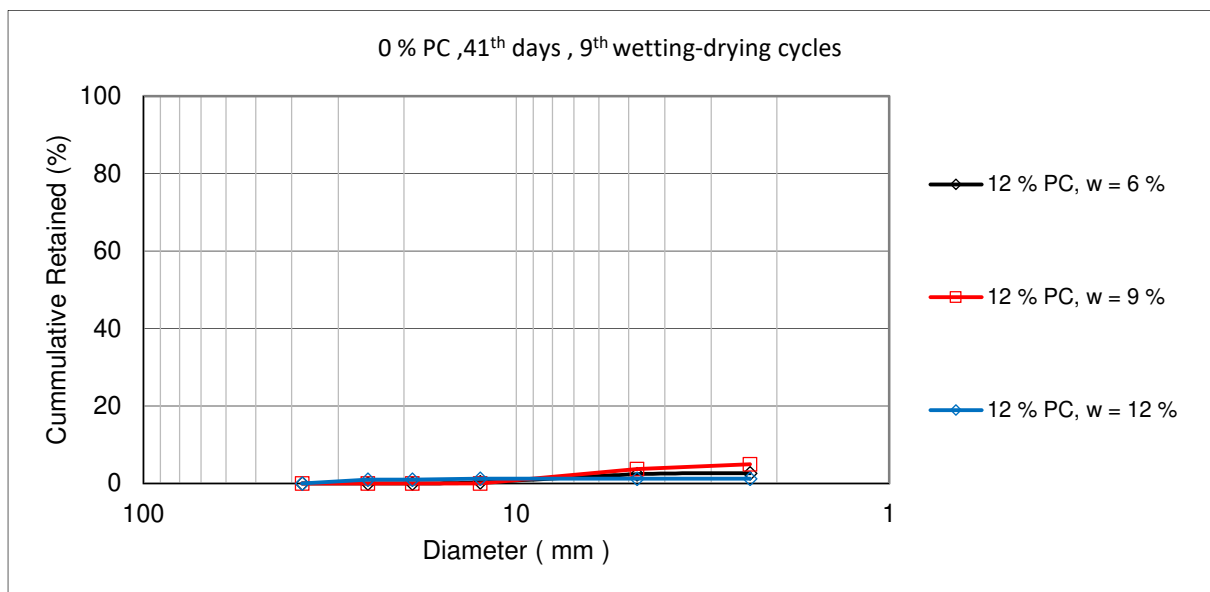
Gambar 4.18 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keenam hari ke-29 dengan 0% PC



Gambar 4.19 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketujuh hari ke-33 dengan 0% PC



Gambar 4.20 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedelapan hari ke-37 dengan 0% PC

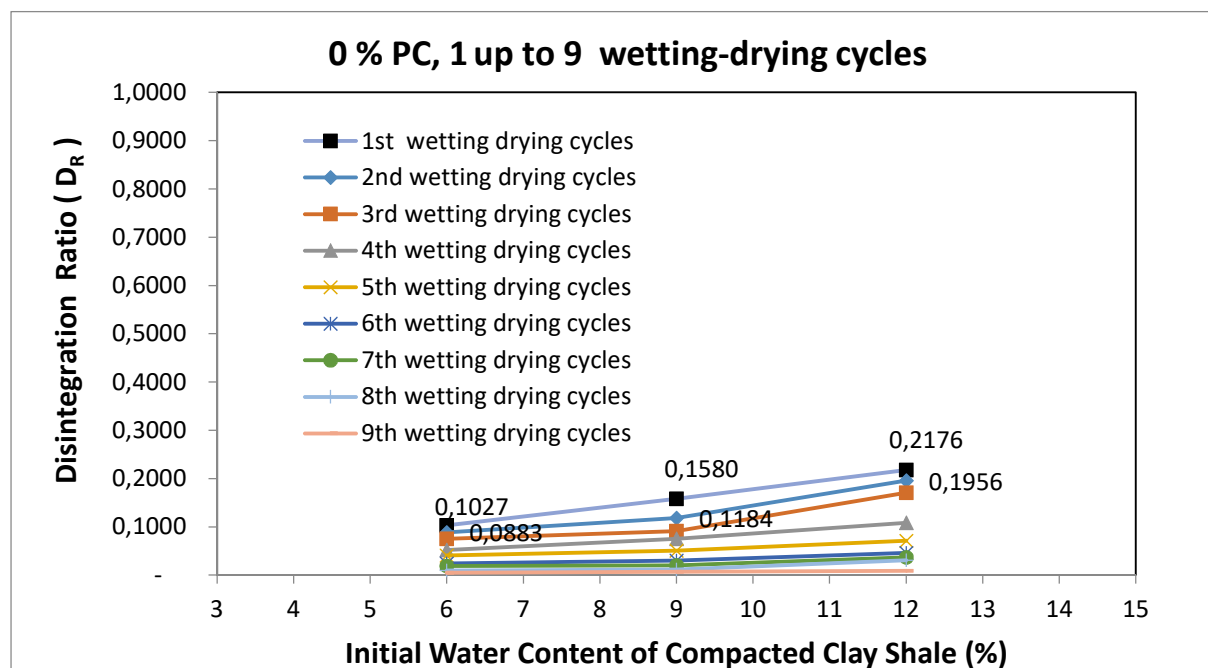


Gambar 4.21 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kesembilan hari ke-41 dengan 0% PC

4.4 Penurunan Rasio Disintegritas (D_R) Clay Shale Hambalang Lapuk Yang Dipadatkan Ulang Tanpa Portland Cement

Rasio disintegritas clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang tanpa PC hingga siklus ke-9 dapat dilihat pada Gambar 4.22. Pada siklus pengeringan dan pembasahan pertama, terlihat bahwa D_R langsung turun disekitar 0.1580, bahkan akan lebih kecil dari 0.1000 setelah perendaman di siklus ke-5. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tanpa tambahan semen, clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan cepat melapuk kembali setelah melewati siklus pertamanya.

Clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang tanpa menambahkan portland cement, akan melapuk keseluruhannya atau D_R mendekati 0.000 setelah siklus ke-8. Seperti dapat dilihat pada Gambar 4.22 dibawah ini.

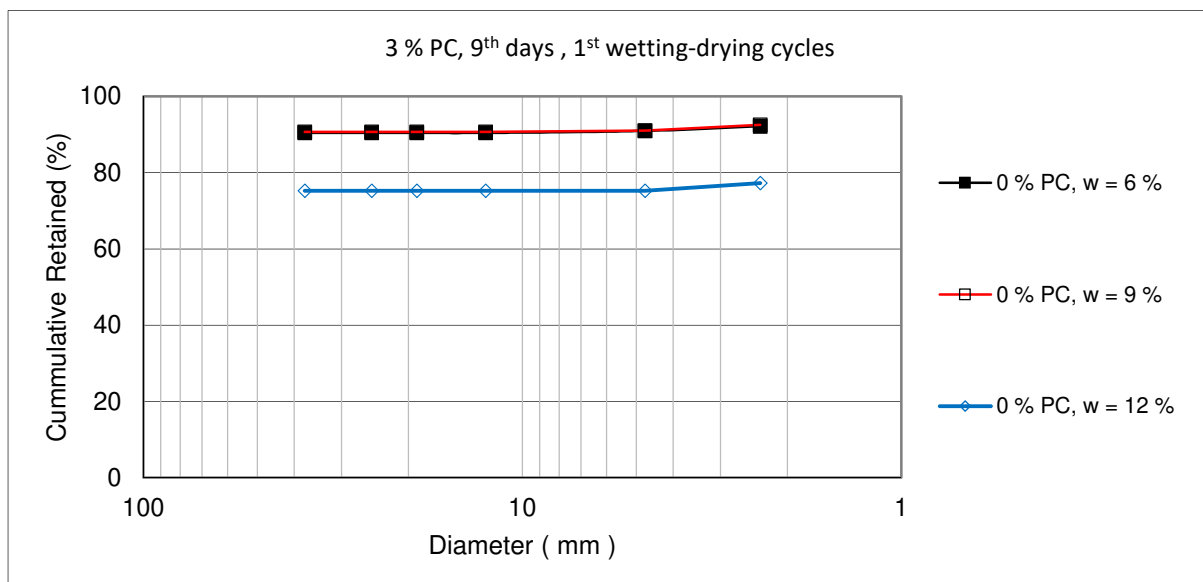


Gambar 4.22 Perilaku penurunan rasio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang lapuk yang dibuat tanpa menggunakan portland cement hingga siklus ke-9 dengan variasi keadaan awal kadar air.

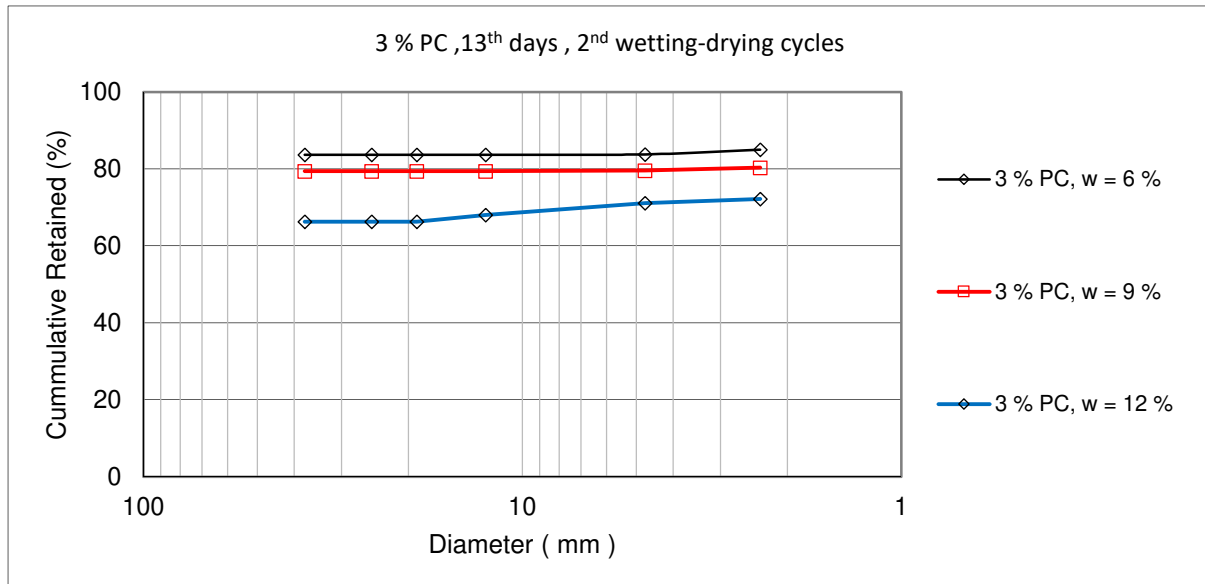
4.5 Perubahan Gradasi Clay Shale Hambalang Pada Pelapukan Ulang Dengan 3% Portland Cement

Perubahan grafik kumulatif tertahan dengan ukuran butiran clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang dengan 3% portland cement hingga siklus ke-9 atau dihari ke-41 perubahan grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.23 pada siklus ke-1 sampai dengan Gambar 4.31 pada siklus ke-9 dengan tambahan 3% PC. Dimana mulai siklus ke-1 hingga siklus ke-9 tampak jelas pengaruh penambahan 3% PC dibandingkan 0% PC. Tanah clay shale Hambalang yang ditambah 3% PC dengan kadar air awal yang 6% (lebih kecil dari $w_{optimum}$), daya tahannya terlihat cukup stabil hingga tertinggal 40% pada siklus ke 9 di hari ke-4, seperti pada Gambar 4.31.

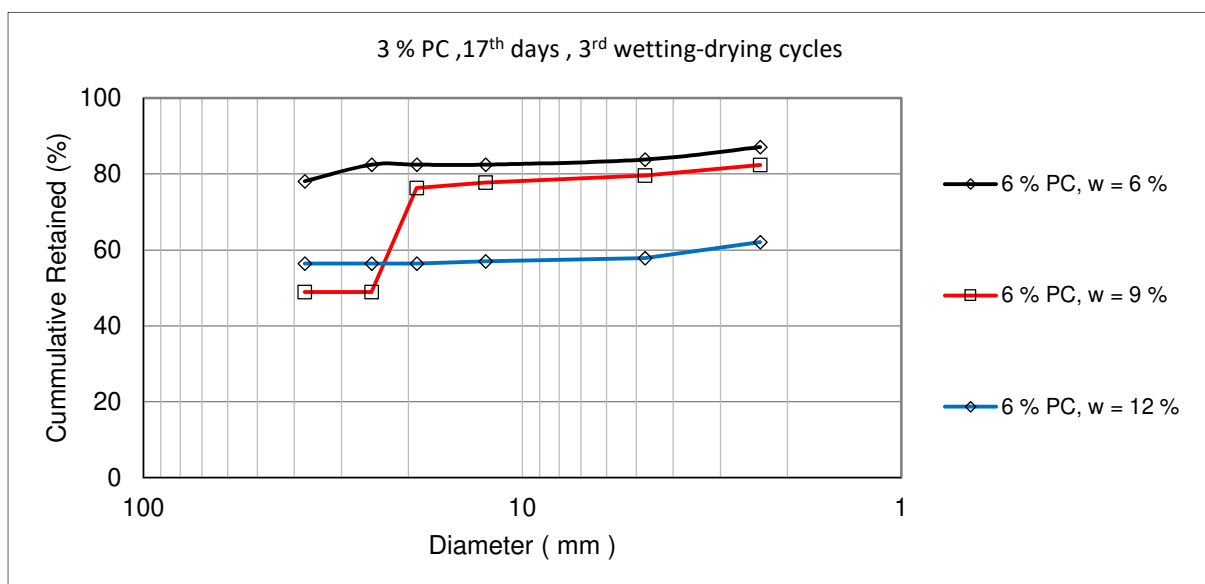
Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 6% lebih tahan, dibanding dengan kadar air 9%. Dan sampel dengan kadar air 9% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 12%. Disini terlihat jelas pengurangan kadar air dan 3% PC saat dipadatkan akan memberikan campuran clay shale Hambalang jauh lebih tahan lauk dibandingkan tanpa menggunakan portland cement.



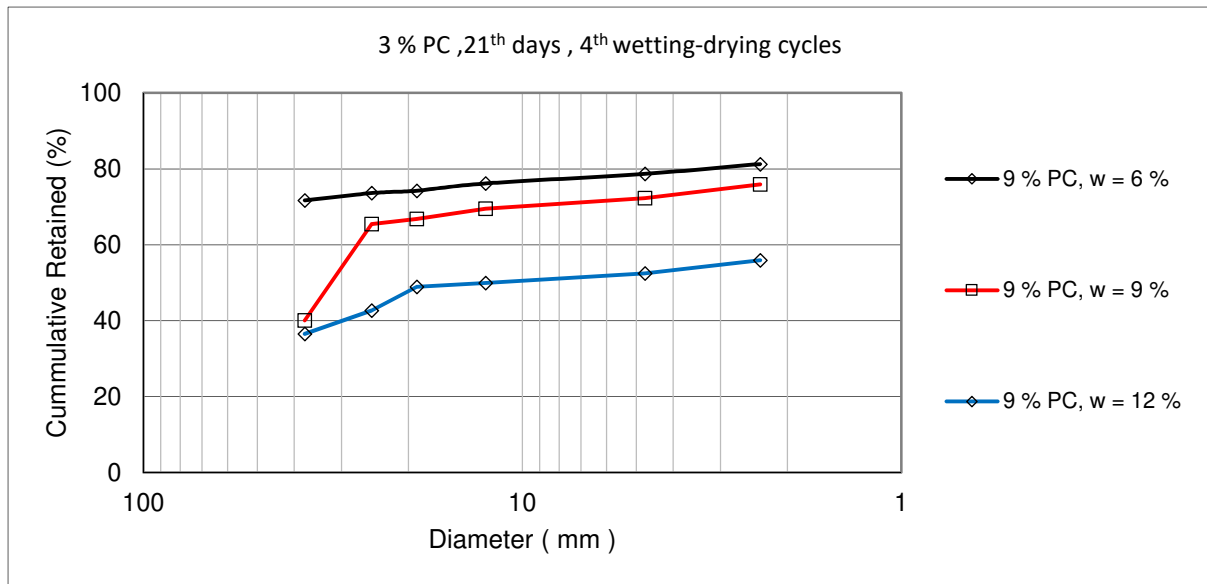
Gambar 4.23 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus pertama hari ke-9 dengan 3% PC



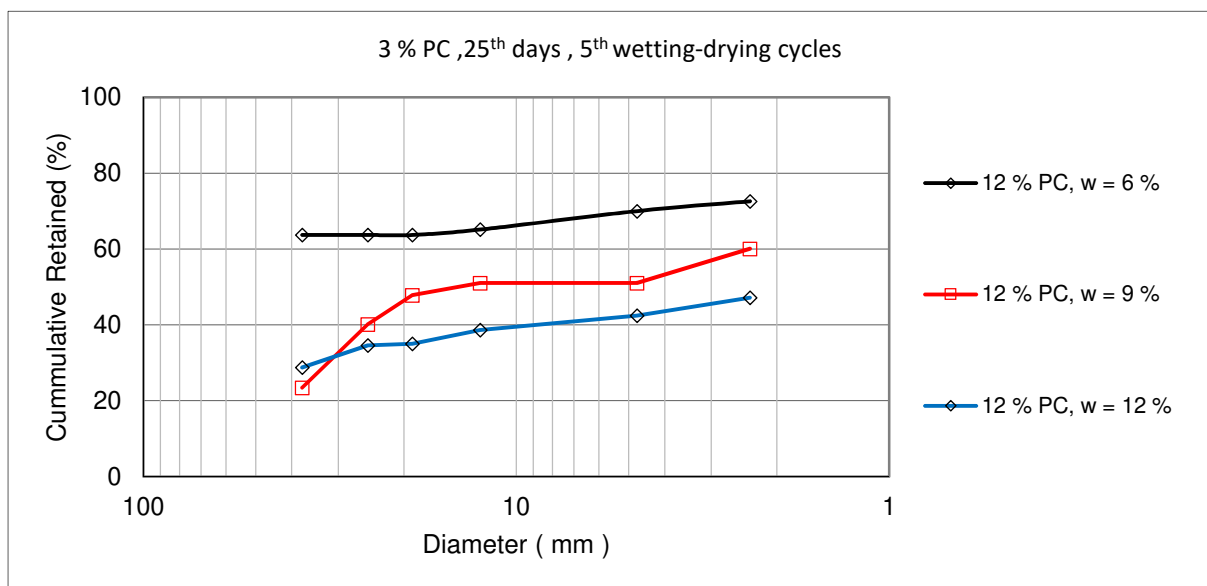
Gambar 4.24 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedua hari ke-13 dengan 3% PC



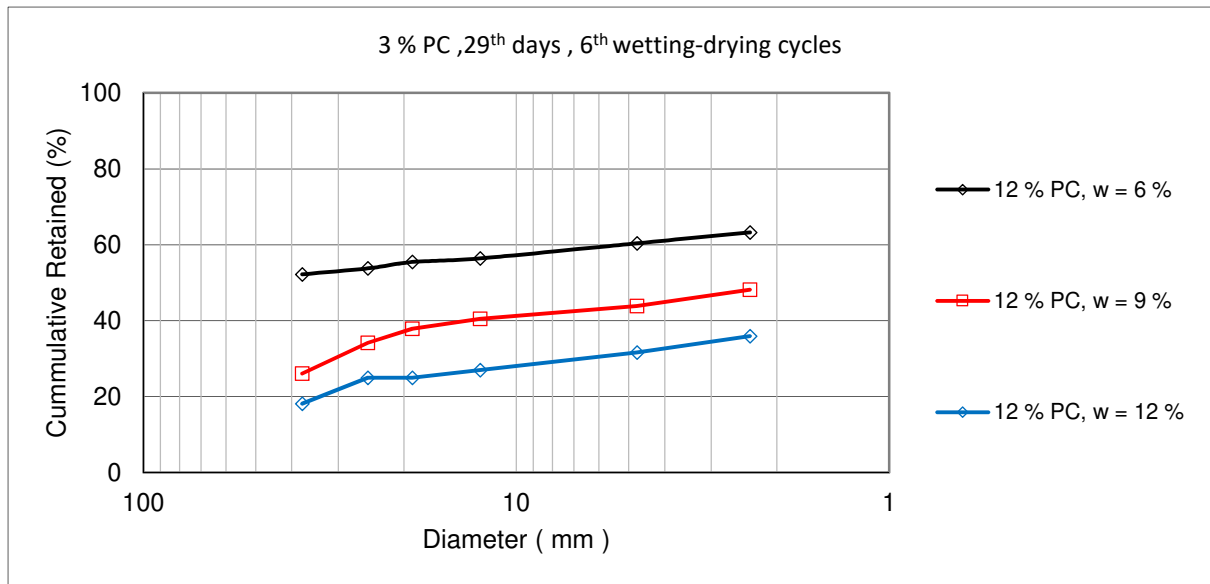
Gambar 4.25 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketiga hari ke-17 dengan 3% PC



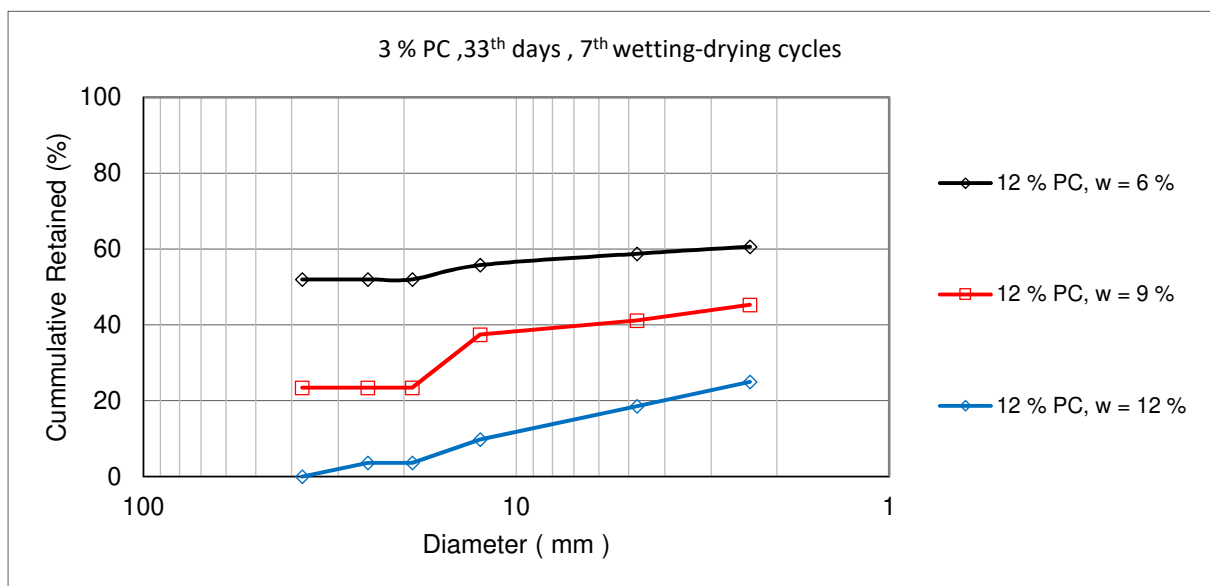
Gambar 4.26 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keempat hari ke-21 dengan 3% PC



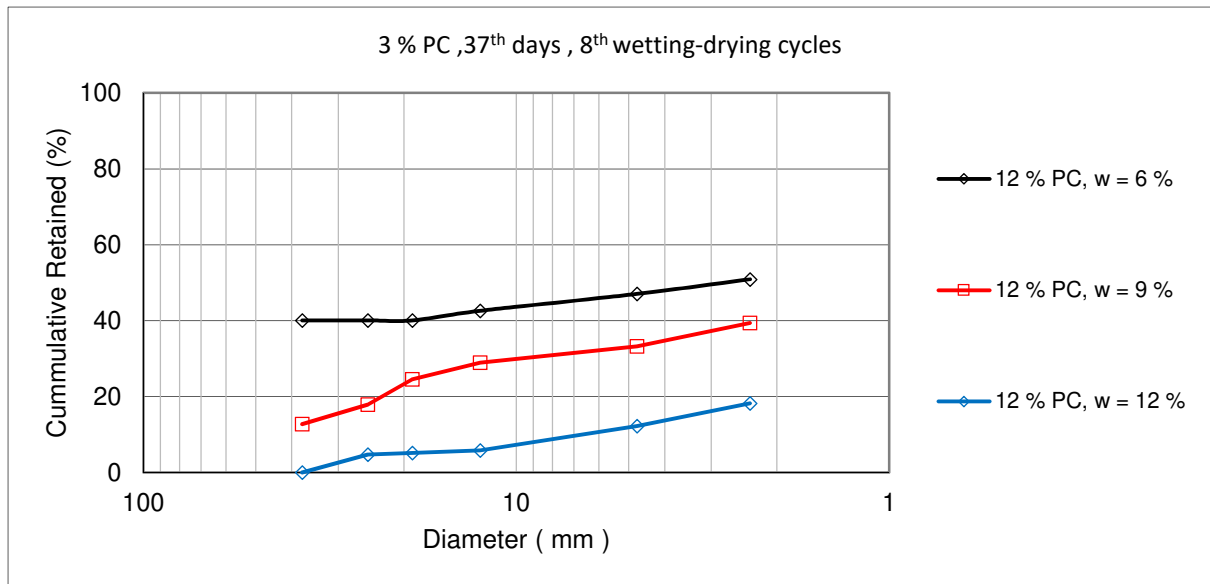
Gambar 4.27 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kelima hari ke-25 dengan 3% PC



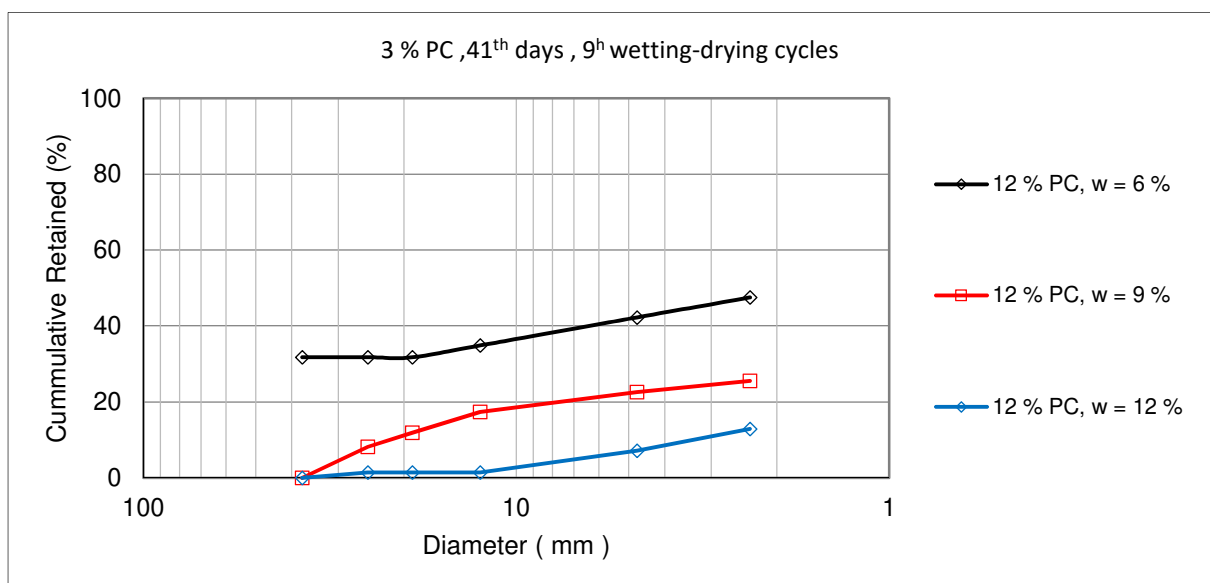
Gambar 4.28 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keenam hari ke-29 dengan 3% PC



Gambar 4.29 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketujuh hari ke-33 dengan 3% PC



Gambar 4.30 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedelapan hari ke-37 dengan 3% PC

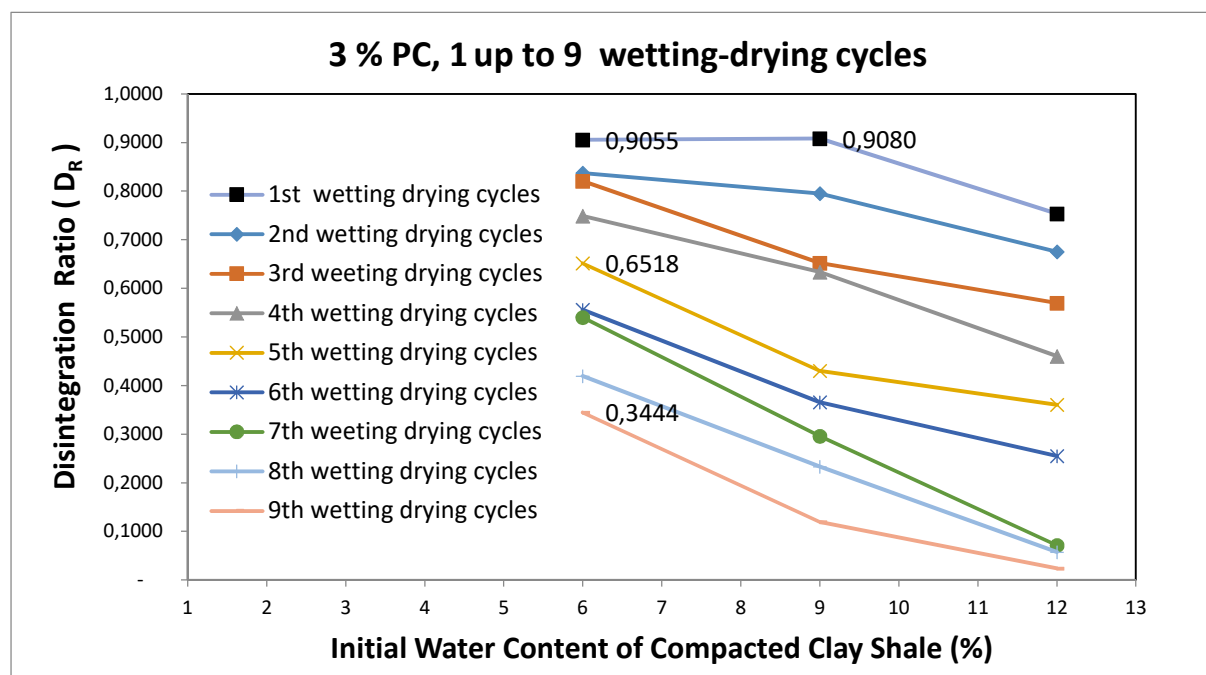


Gambar 4.31 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kesembilan hari ke-41 dengan 3% PC

4.6 Penurunan Rasio Disintegritas (D_R) Clay Shale Hambalang Lapuk Yang Dipadatkan Ulang Dengan 3% Portland Cement

Rasio disintegritas clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang dengan ditambah 3% PC hingga dari siklus ke-1 siklus ke-9 dapat dilihat pada Gambar 4.32. Pada siklus pembasahan dan pengeringan pertama, terlihat bahwa D_R turun disekitar 0.9055 saat dipadatkan dengan kadar air 6%, bahkan pada siklus ke-5 D_R akan turun lagi menjadi 0.6518. Ini jauh lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan PC dalam memadatkannya. Rasio disintegritas pada siklus ke-9 apada kadar air awal 6% menjadi 0.3443. Hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan tambahan 3% PC, clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan cepat tahan dari pelapukan hingga 34 % di siklus ke-9 bila dipadatkan dengan kadar air 6%.

Clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang dengan menambahkan portland cement sebanyak 3% tidak akan melapuk seluruhnya hingga siklus ke-9 bila dipadatkan pada kadar air sebesar 6%. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.32 berikut.

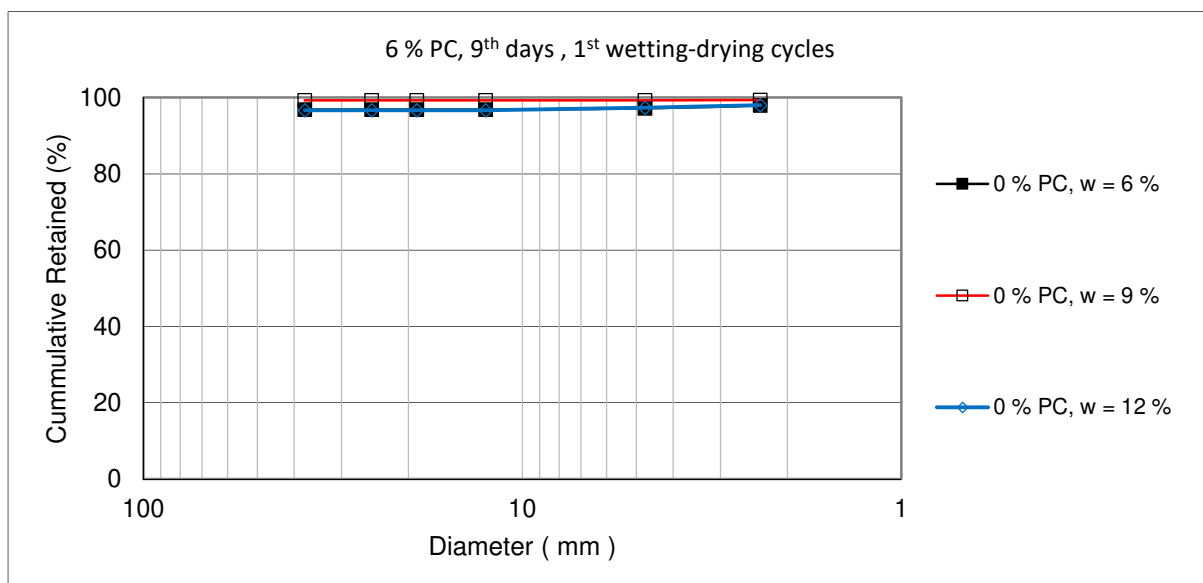


Gambar 4.32 Perilaku penurunan rasio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan 3 % PC dari siklus ke-1 hingga siklus ke-9 dengan tiga kondisi keadaan awal kadar air.

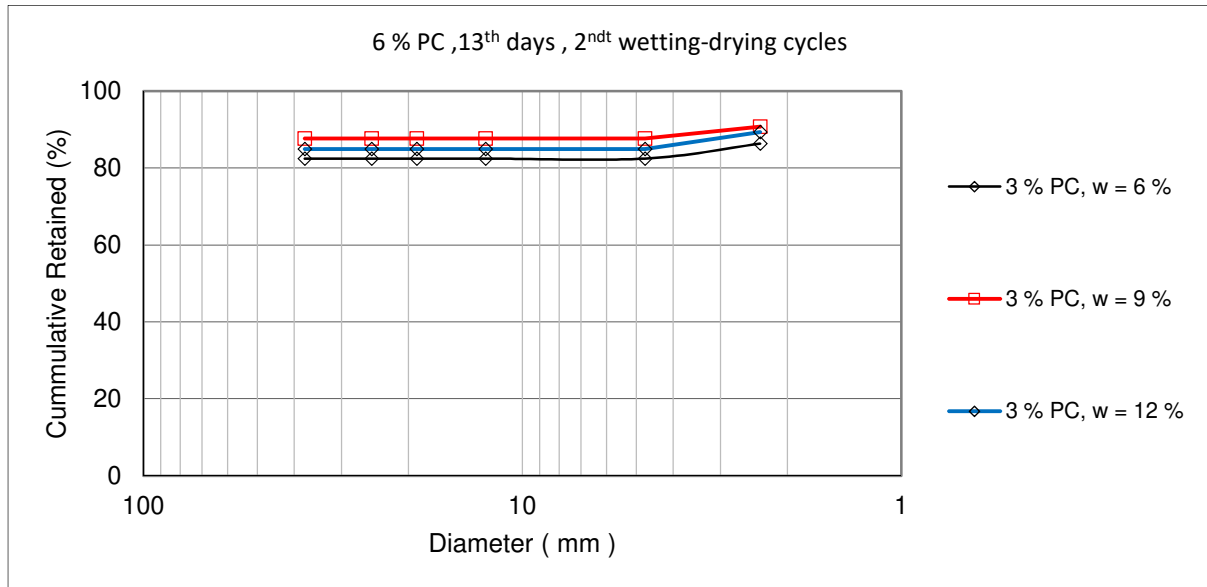
4.7 Perubahan Gradasi Clay Shale Hambalang Pada Pelapukan Ulang Dengan 6% Portland Cement

Perubahan grafik komulatif tertahan dengan ukuran butiran clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang dengan 6% portland cement hingga siklus ke-9 atau dihari ke-41 perubahan grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.33 pada siklus ke-1 sampai dengan Gambar 4.41 pada siklus ke-9 dengan tambahan 6% PC. Dimana mulai siklus ke-1 hingga siklus ke-9 tampak jelas pengaruh penambahan 6% PC dibandingkan 3% PC. Tanah clay shale Hambalang yang ditambah 6% PC dengan kadari air awal yang 9% (w optimum), daya tahannya terlihat cukup stabil hingga tertinggal 66.46 % pada siklus ke 9 di hari ke-4, seperti pada Gambar 4.41.

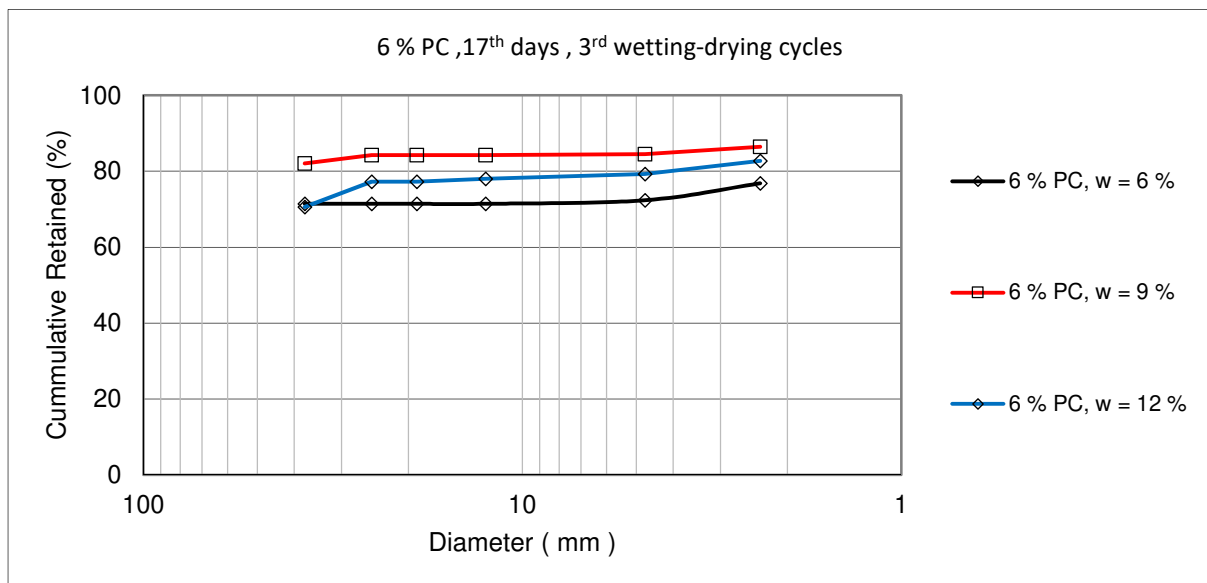
Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 9% (kadar air optimum) lebih tahan, dibanding dengan kadar air 6%. Dan sampel dengan kadar air 12% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 6% hingga siklus ke-6 pembahasan dan pengeringan. Manakala kadar air yang 6% lebih baik dari yang 12% terjadi pada siklus ke 7 hingga ke-9 atau di hari ke-41. Disini terlihat jelas kadar air optimum pegang peranan yang menentukan terhadap kestabilan clay shale Hambalang lapuk yang di stabilisasi dengan 9% PC.



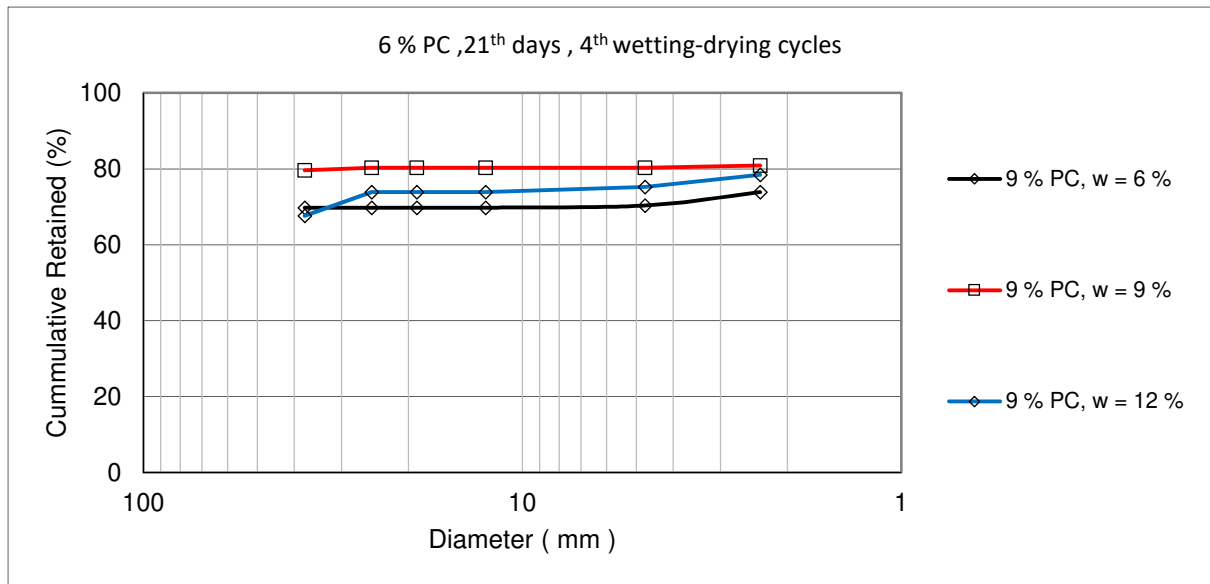
Gambar 4.33 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus pertama hari ke-9 dengan 6% PC



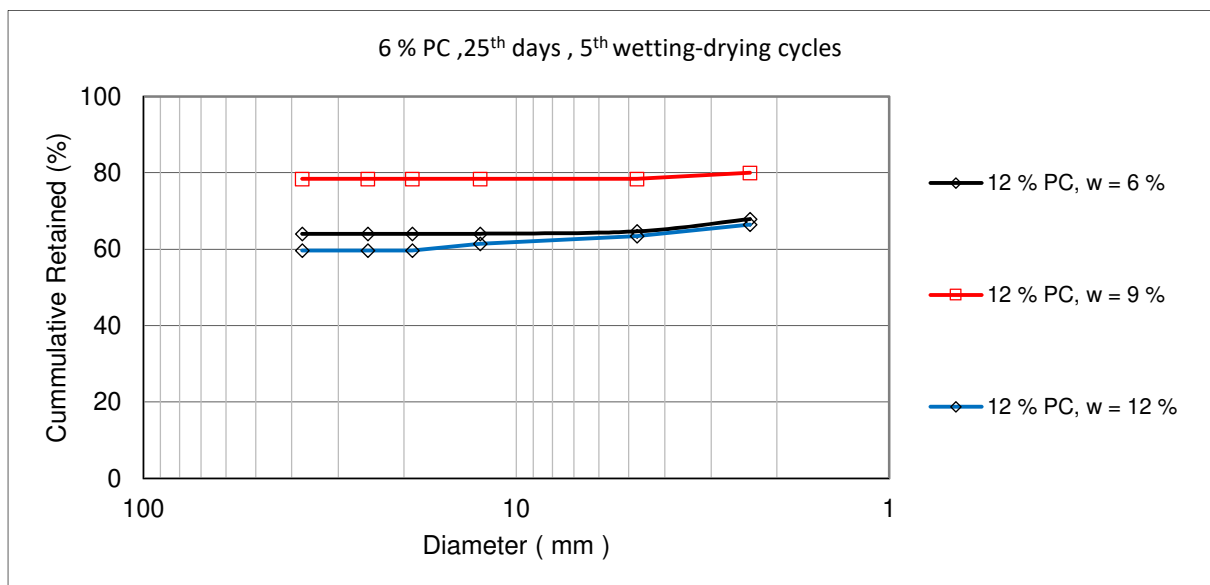
Gambar 4.34 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedua hari ke-13 dengan 6% PC



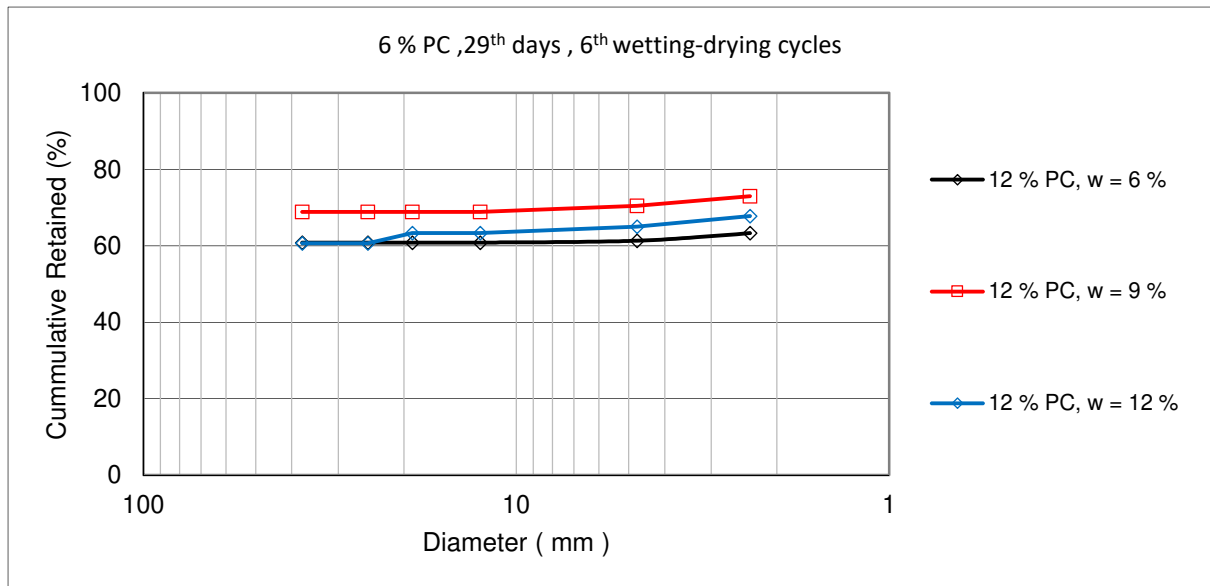
Gambar 4.35 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketiga hari ke-17 dengan 6% PC



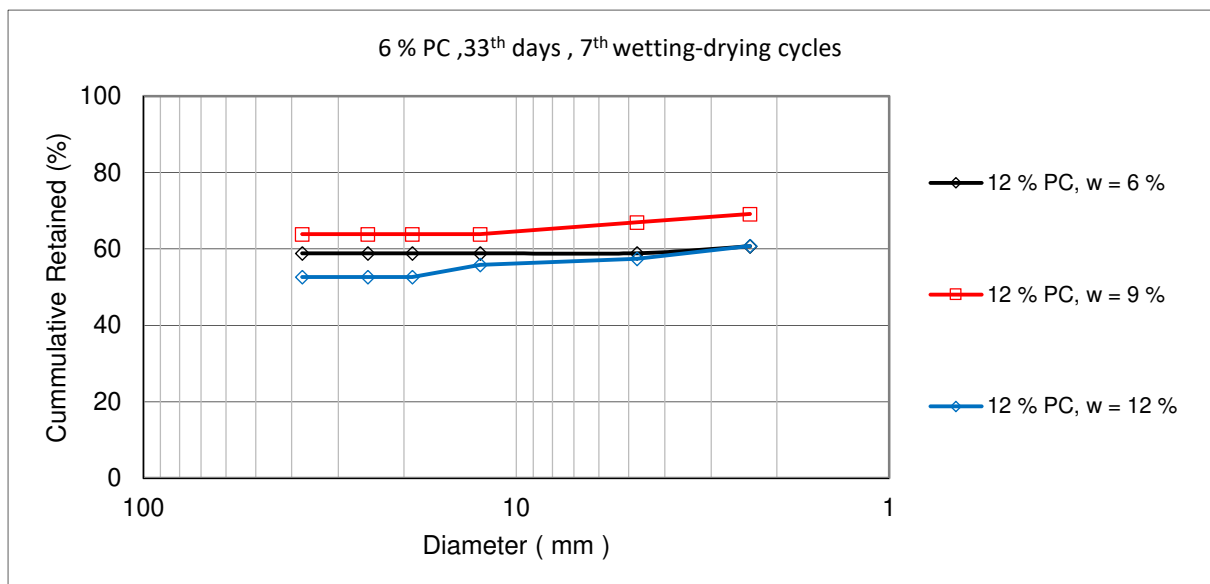
Gambar 4.36 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keempat hari ke-21 dengan 6% PC



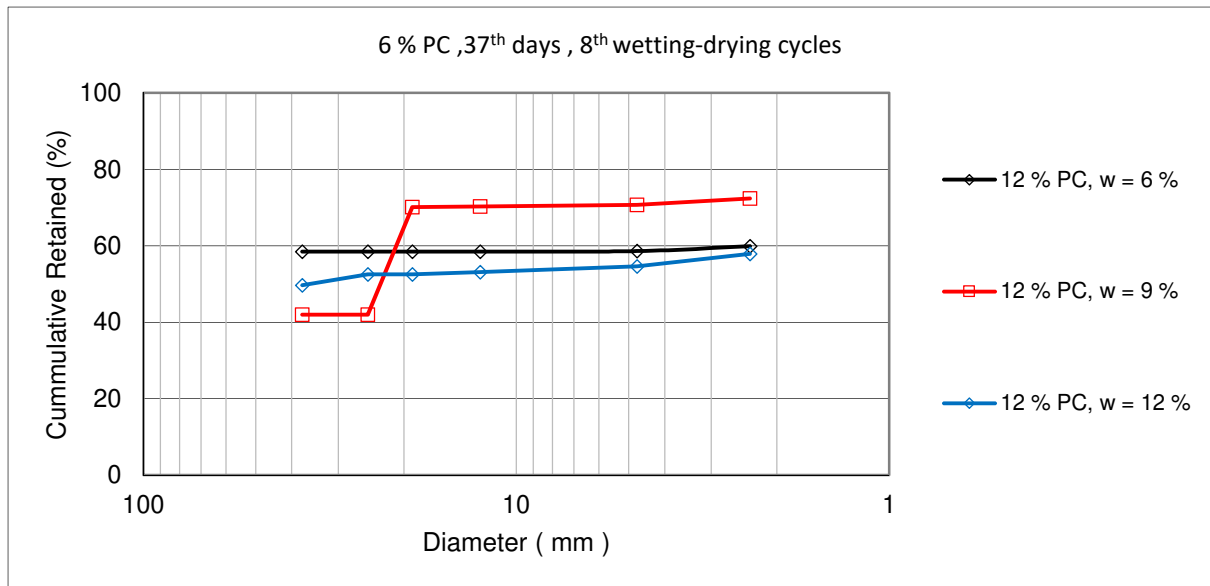
Gambar 4.37 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kelima hari ke-25 dengan 6% PC



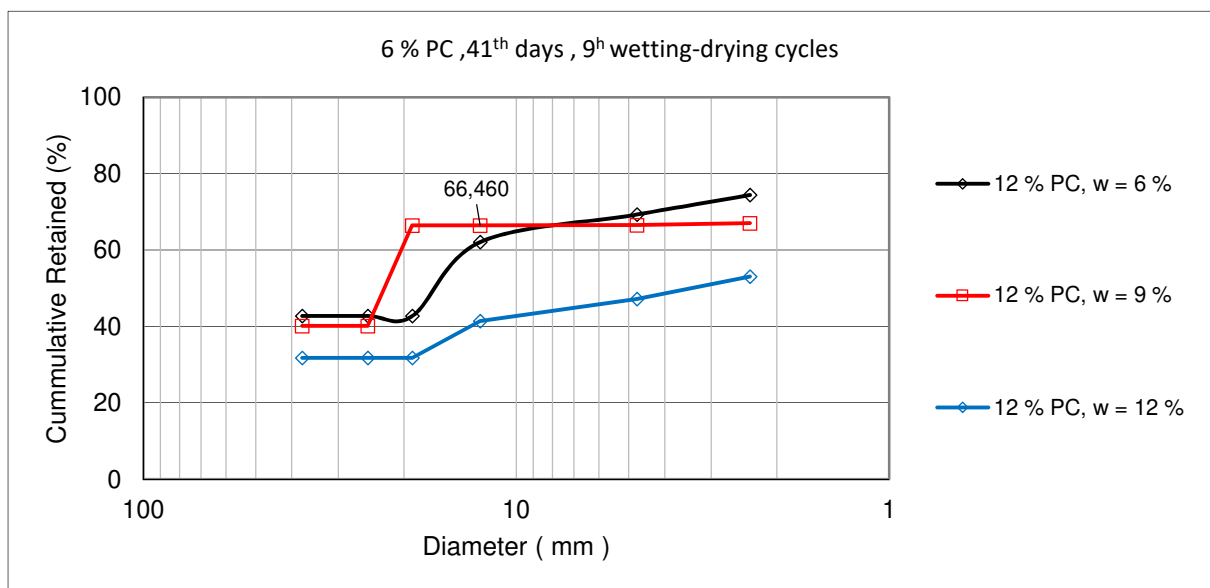
Gambar 4.38 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keenam hari ke-29 dengan 6% PC



Gambar 4.39 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketujuh hari ke-33 dengan 6% PC



Gambar 4.40 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedelapan hari ke-37 dengan 6% PC

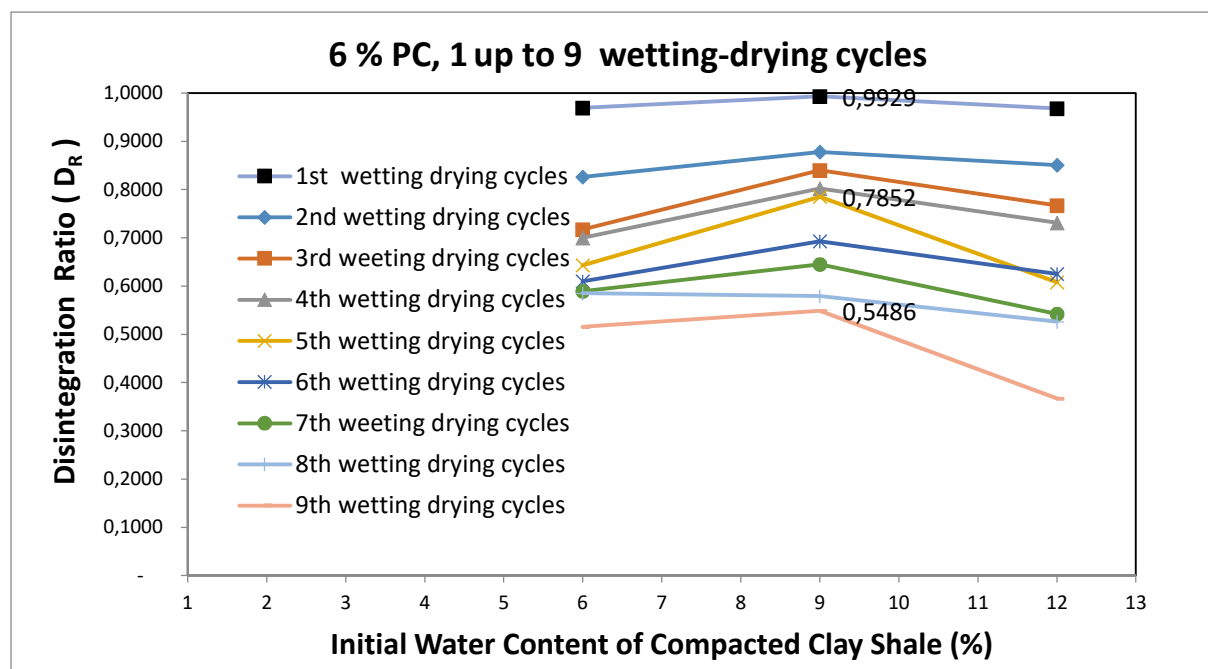


Gambar 4.41 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kesembilan hari ke-41 dengan 6% PC

4.8 Penurunan Rasio Disintegritas (D_R) Clay Shale Hambalang Lapuk Yang Dipadatkan Ulang Dengan 6% Portland Cement

Rasio disintegritas clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang dengan ditambah 9% PC hingga dari siklus ke-1 siklus ke-9 dapat dilihat pada Gambar 4.42. Pada siklus pembasahan dan pengeringan pertama, terlihat bahwa D_R turun disekitar 0.9929 saat dipadatkan dengan kadar air 9% (w optimum), bahkan pada siklus ke-5 D_R hanya turun dan menjadi 0.7852. Ini jauh lebih baik dibandingkan menggunakan 3% PC dalam memadatkannya. Rasio disintegritas (D_R) pada siklus ke-9 apada kadar air awal 9% menjadi 0.5486. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tambahan 6% portland cement, clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan cepat tahan dari pelapukan hingga 55 % di siklus ke-9 bila dipadatkan dengan kadar air 9% (kadar air optimum)

Clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang dengan menambahkan portland cement sebanyak 6% tidak akan melapuk seluruhnya hingga siklus ke-9 bila dipadatkan pada kadar air sebesar 9%. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.32 berikut.

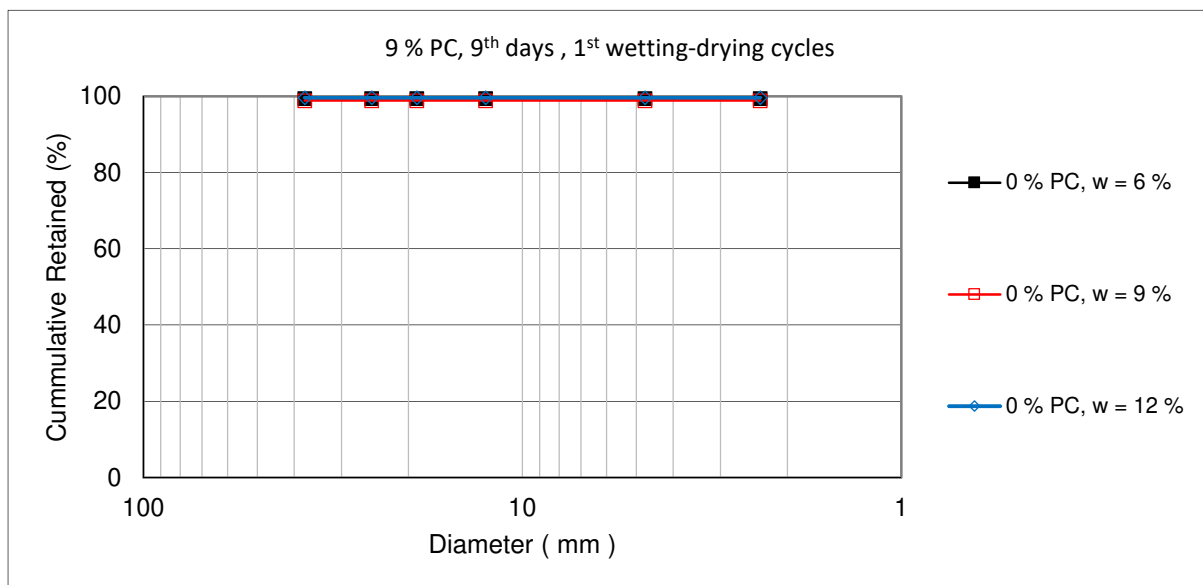


Gambar 4.42 Perilaku penurunan rasio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan 6 % PC dari siklus ke-1 hingga siklus ke-9 dengan tiga kondisi keadaan awal kadar air

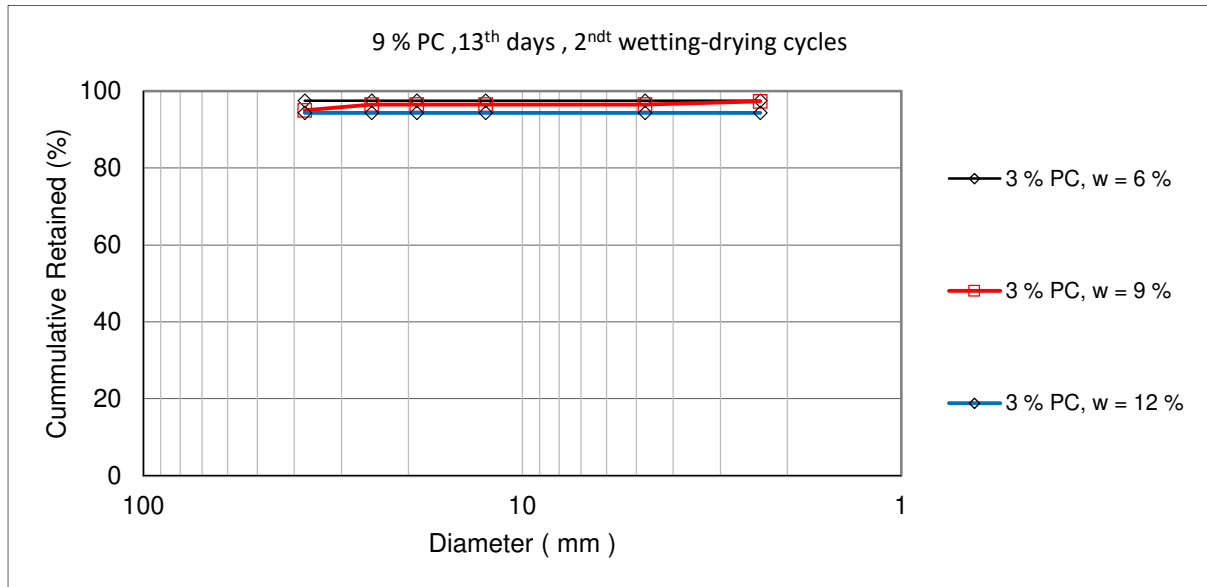
4.9 Perubahan Gradasi Clay Shale Hambalang Pada Pelapukan Ulang Dengan 9% Portland Cement

Perubahan grafik kumulatif tertahan dengan ukuran butiran clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang dengan 9% portland cement hingga siklus ke-9 atau dihari ke-41 perubahan grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.43 pada siklus ke-1 sampai dengan Gambar 4.51 pada siklus ke-9 dengan tambahan 9% PC. Pada Siklus ke-1 tampaknya pelapukan yang hanya sedikit dan sampel nyaris tidak terlapukan, seperti terlihat pada Gambar 4.43. Dimulai siklus ke-1 hingga siklus ke-9 tampak jelas pengaruh penambahan 9% PC dibandingkan 6% PC. Tanah clay shale Hambalang yang ditambah 9% PC dengan kadari air awal yang 9% (w optimum), daya tahannya terlihat cukup stabil hingga tertinggal 73.29 % pada siklus ke 9 di hari ke-4, seperti pada Gambar 4.41.

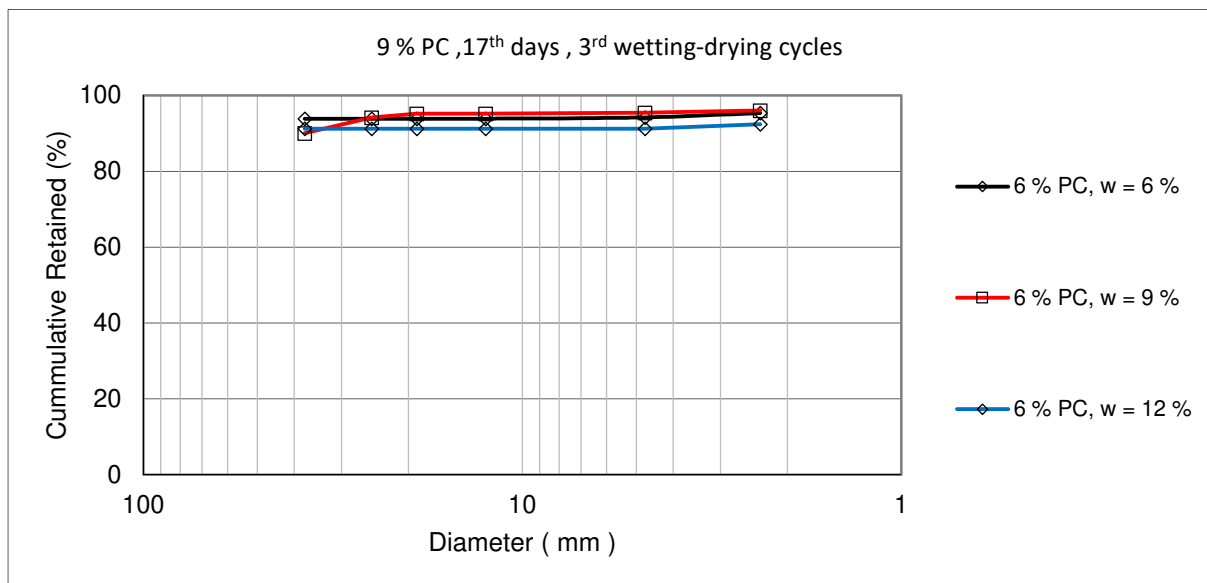
Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 9% (kadar air optimum) lebih tahan, dibanding dengan kadar air 6%. Dan sampel dengan kadar air 12% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 6% hingga siklus ke-6 pembahasan dan pengeringan. Manakala kadar air yang 6% lebih baik dari yang 12% terjadi pada siklus ke 7 hingga ke-9 atau di hari ke-41. Disini terlihat jelas kadar air optimum pegang peranan yang menentukan terhadap kestabilan clay shale Hambalang lapuk yang di stabilisasi dengan 9% PC.



Gambar 4.43 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus pertama hari ke-9 dengan 9% PC



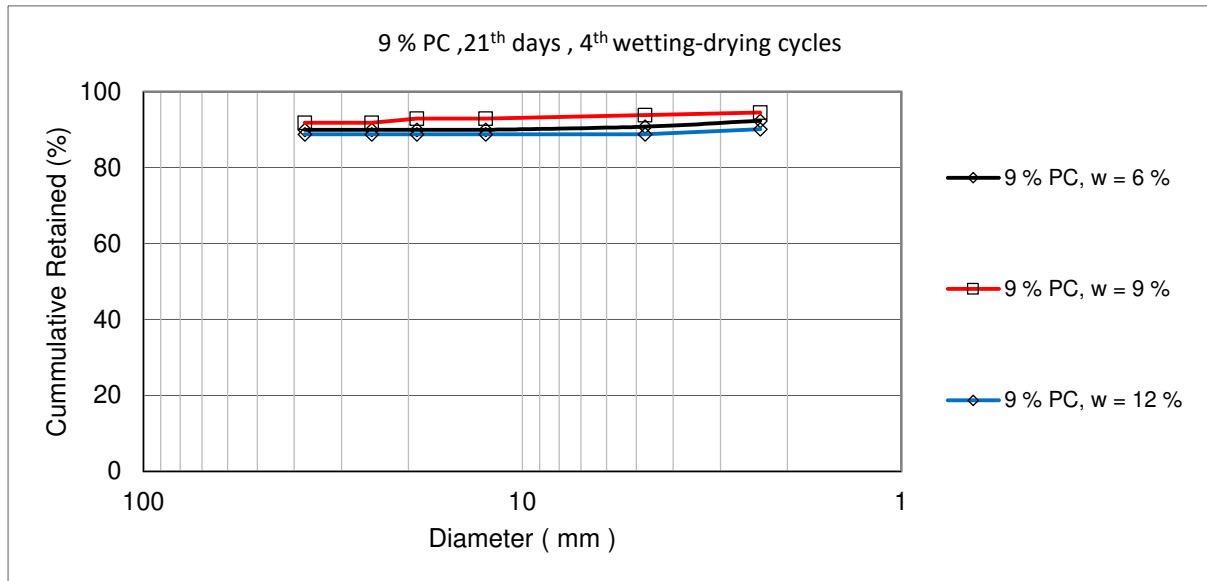
Gambar 4.44 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedua hari ke-13 dengan 9% PC



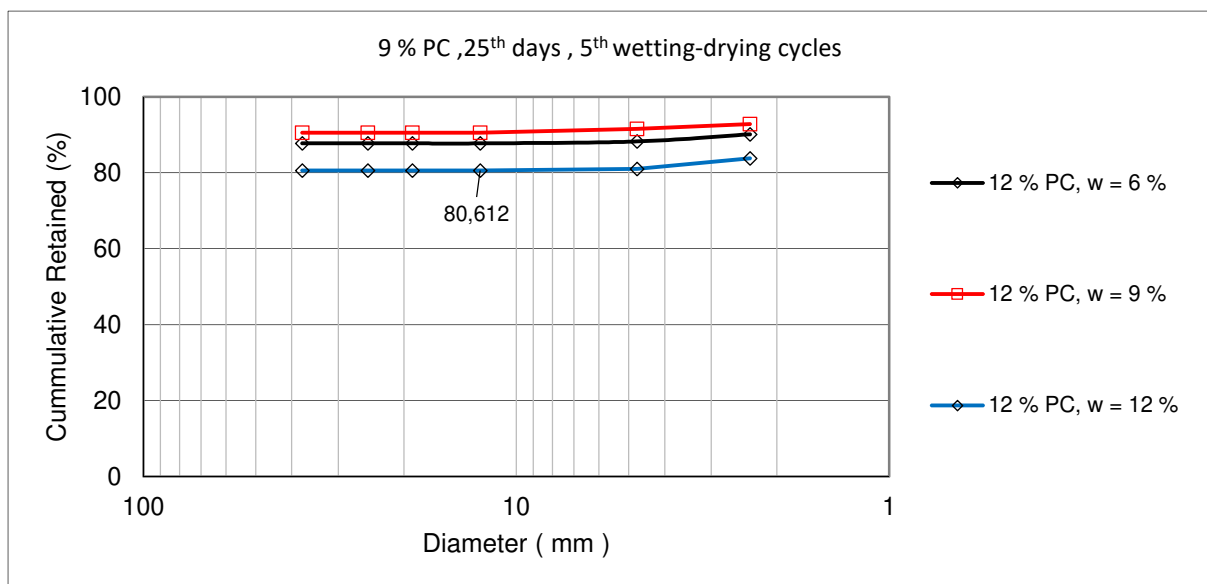
Gambar 4.45 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketiga hari ke-17 dengan 9% PC

Mulai dari siklus ke-2 hingga siklus ke-9 terlihat bahwa sampel dengan kadar air 6%, cukup handal dibawah kadar air optimumnya 9%, bahwa sampel lebih tahan lapuk bila

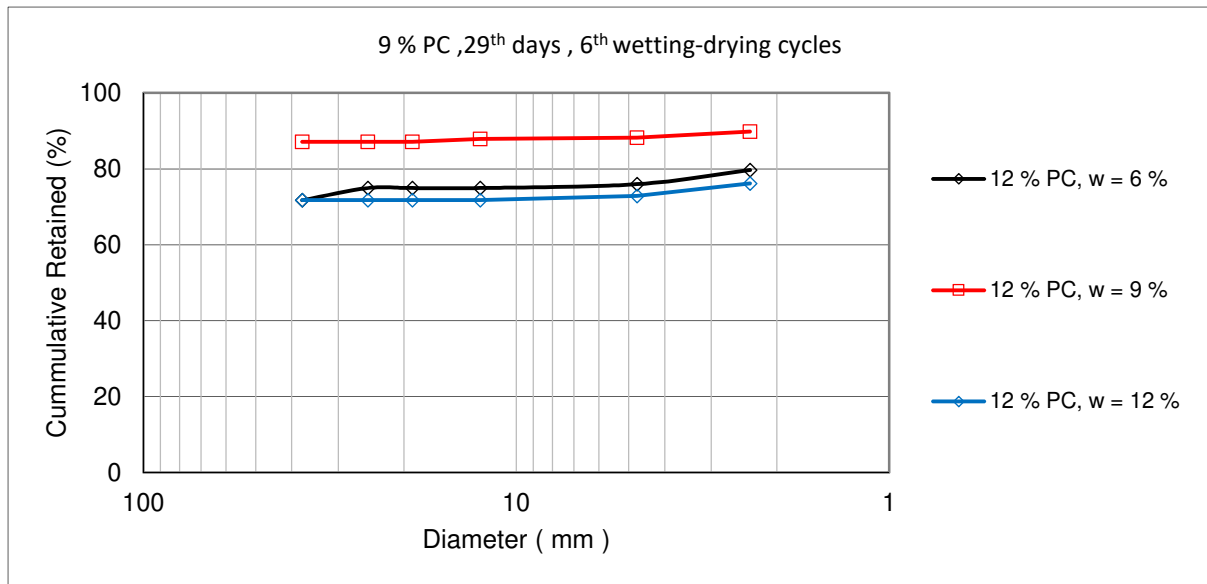
dibandingkan dengan penggunaan air sebanyak 12%. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.44 hingga Gambar 4.51 dibawah ini.



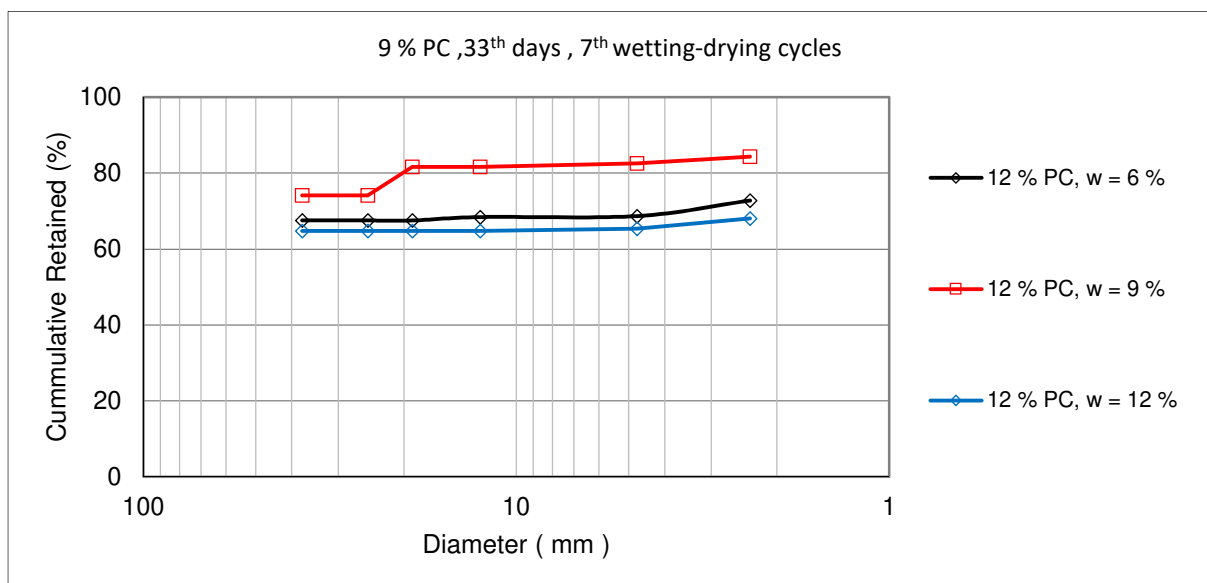
Gambar 4.46 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keempat hari ke-21 dengan 9% PC



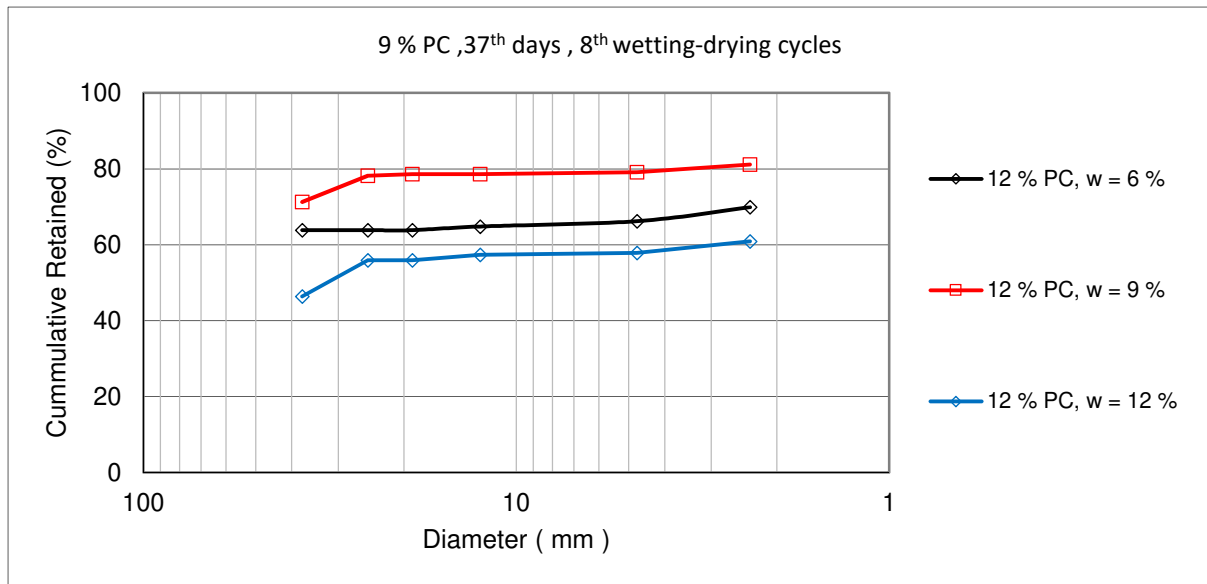
Gambar 4.47 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kelima hari ke-25 dengan 9% PC



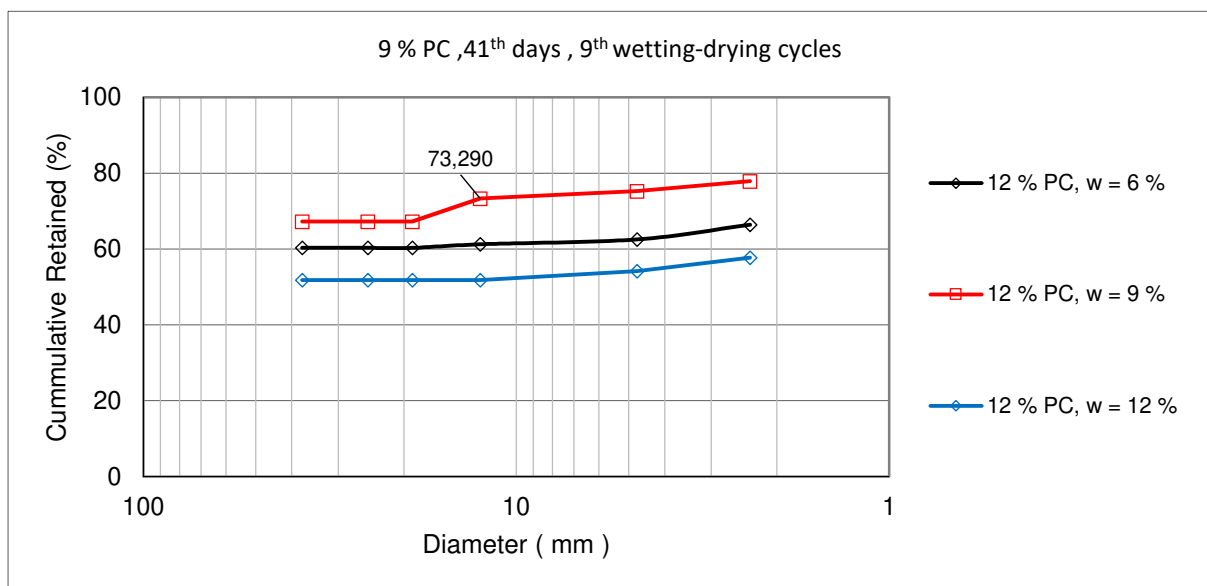
Gambar 4.48 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keenam hari ke-29 dengan 9% PC



Gambar 4.49 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketujuh hari ke-33 dengan 9% PC



Gambar 4.50 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedelapan hari ke-37 dengan 9% PC

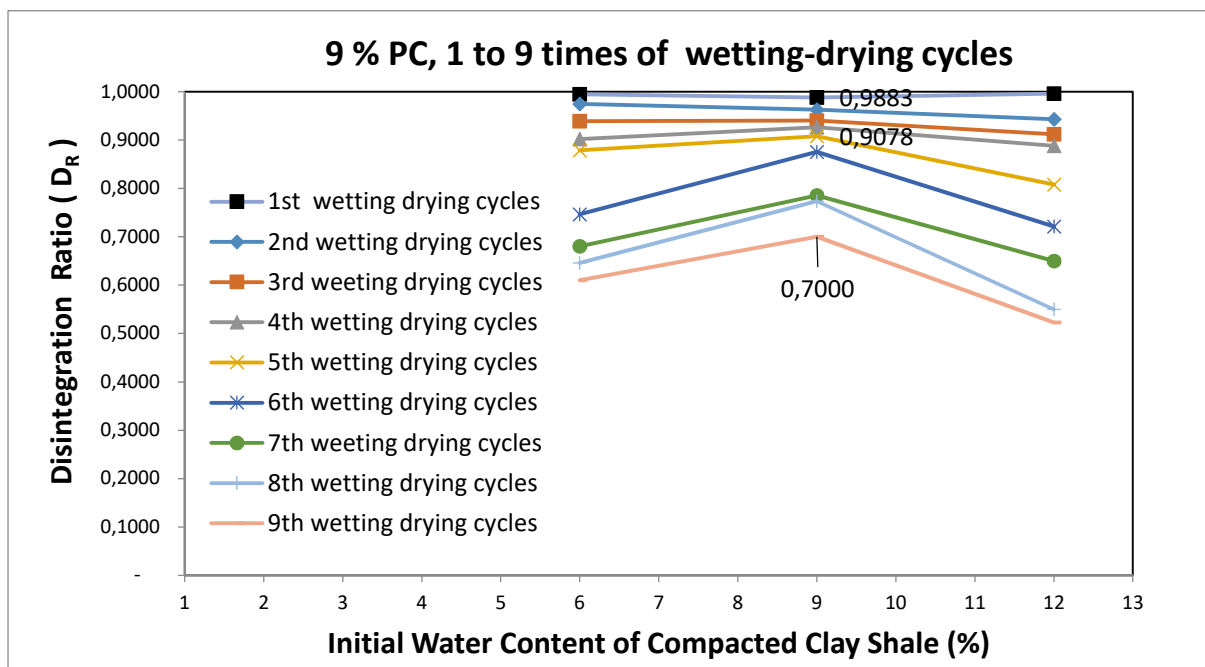


Gambar 4.51 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kesembilan hari ke-41 dengan 9% PC

4.10 Penurunan Rasio Disintegritas (D_R) Clay Shale Hambalang Lapuk Yang Dipadatkan Ulang Dengan 9% Portland Cement

Rasio disintegritas clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang dengan ditambah 9% PC hingga dari siklus ke-1 siklus ke-9 dapat dilihat pada Gambar 4.52. Pada siklus pembasahan dan pengeringan pertama, terlihat bahwa D_R turun disekitar 0.9883 saat dipadatkan dengan kadar air 9% (w optimum), bahkan pada siklus ke-5 D_R hanya turun dan menjadi 0.9078. Ini jauh lebih baik dibandingkan menggunakan 6% PC dalam memadatkannya. Rasio disintegritas (D_R) pada siklus ke-9 apada kadar air awal 9% menjadi 0.7000. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tambahan 9% portland cement, clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan cepat tahan dari pelapukan hingga 70% di siklus ke-9 bila dipadatkan dengan kadar air 9% (kadar air optimum)

Clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang dengan menambahkan portland cement sebanyak 9% tidak akan melapuk seluruhnya hingga siklus ke-9 bila dipadatkan pada kadar air sebesar 9%. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.52 berikut.

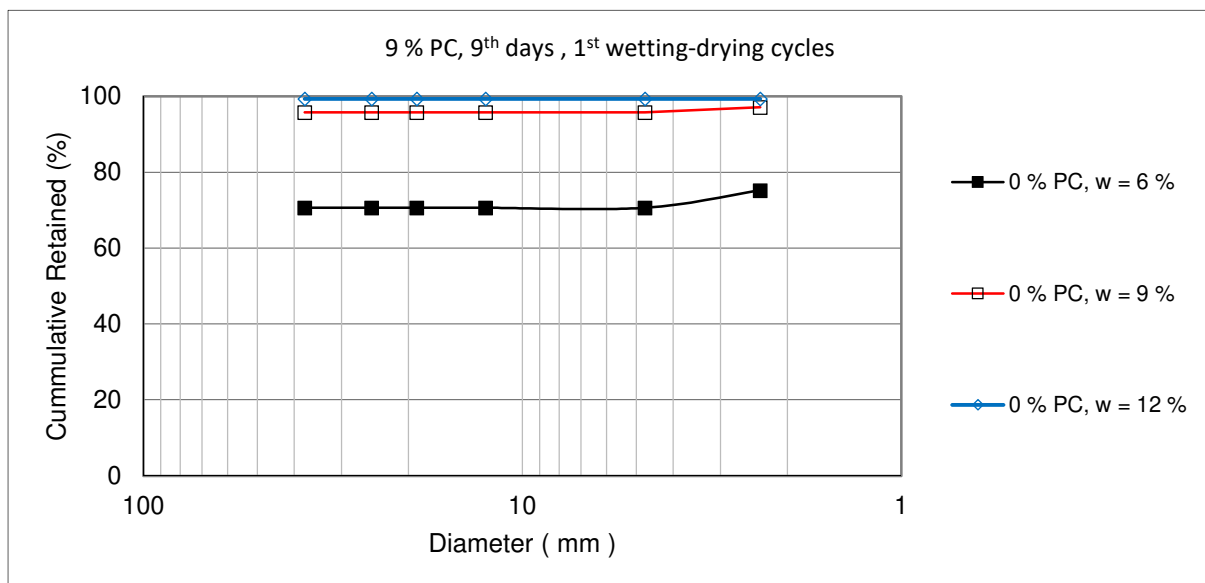


Gambar 4.52 Perilaku penurunan rasio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan 9 % PC dari siklus ke-1 hingga siklus ke-9 dengan tiga kondisi keadaan awal kadar air

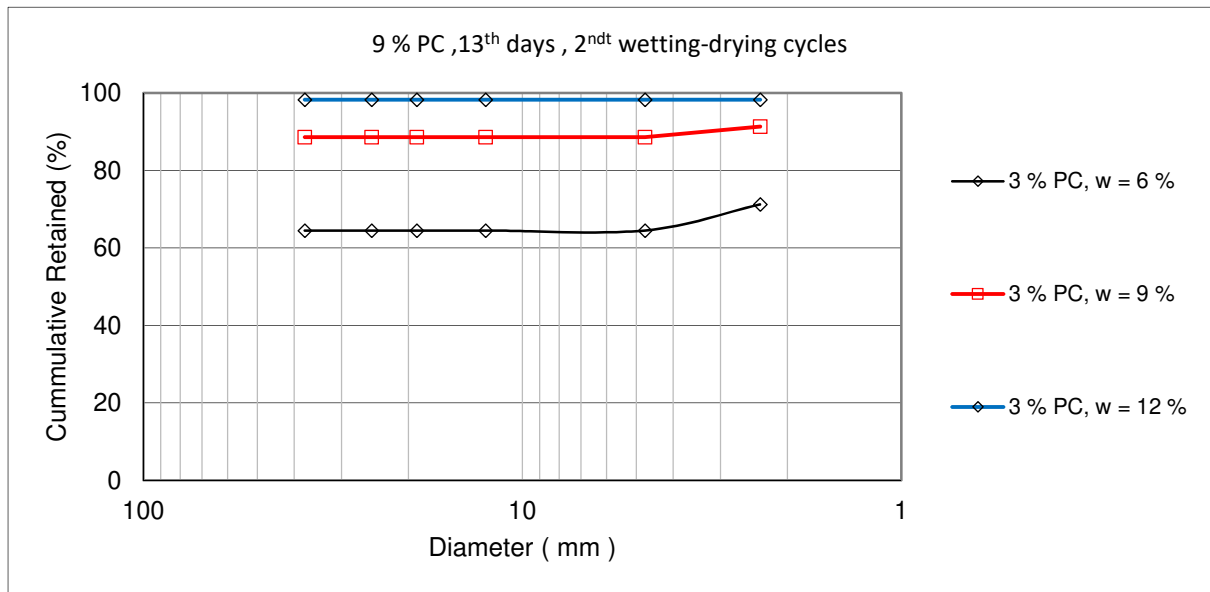
4.11 Perubahan Gradasi Clay Shale Hambalang Pada Pelapukan Ulang Dengan 12% Portland Cement

Perubahan grafik komulatif tertahan dengan ukuran butiran clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang dengan 12% portland cement hingga siklus ke-9 atau dihari ke-41 perubahan grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.53 pada siklus ke-1 sampai dengan Gambar 4.61 pada siklus ke-9 dengan tambahan 9% PC. Dimulai siklus ke-1 hingga siklus ke-9 tampak jelas pengaruh penambahan 12 % PC dibandingkan prosentase PC lainnya yang lebih kecil. Tanah clay shale Hambalang yang ditambah 12% PC dengan kadari air awal yang 12% (lebih besar dari w optimum), daya tahannya terlihat cukup stabil hingga tertinggal 79,95 % pada siklus ke 9 di hari ke-4, seperti pada Gambar 4.41.

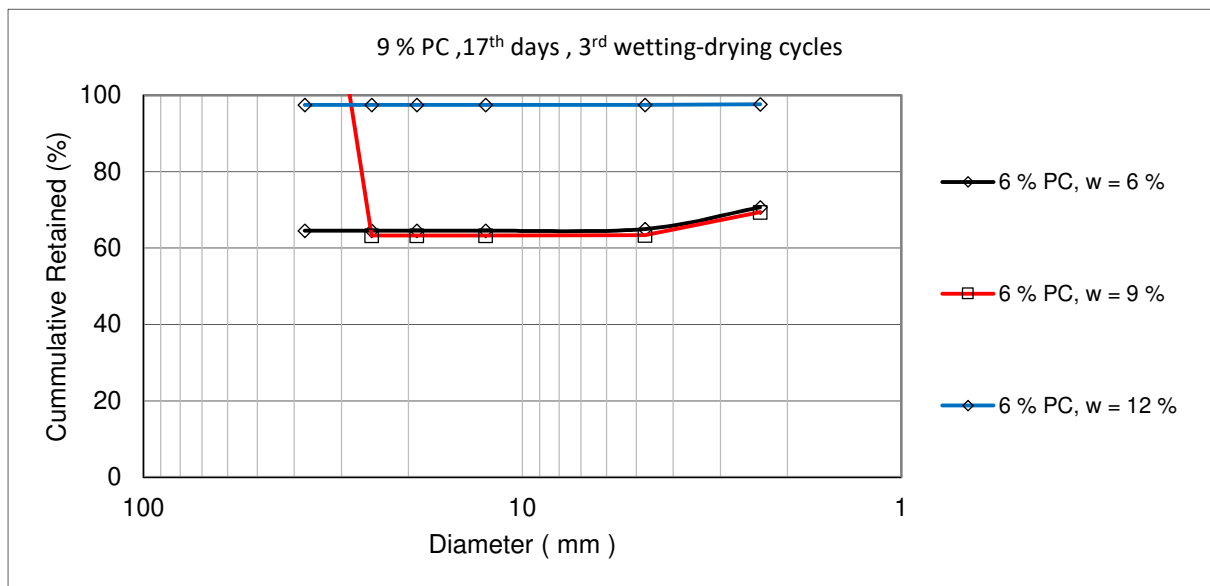
Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 12% (lebih besar dari kadar air optimum) lebih tahan, dibanding dengan kadar air 9% (w optimum). Dan sampel dengan kadar air 9% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 6% dari siklus ke-1 hingga siklus ke-9 pembahasan dan pengeringan. Disini terlihat jelas kadar air 12% yang lebih besar dari kadar air optimumnya pegang peranan yang menentukan terhadap kestabilan clay shale Hambalang lapuk yang di stabilisasi dengan 12% PC. Hal ini karena pemakaian prosentase portland cement lebih banyak, maka lebih banyak ion hidrogen dibutuhkan.



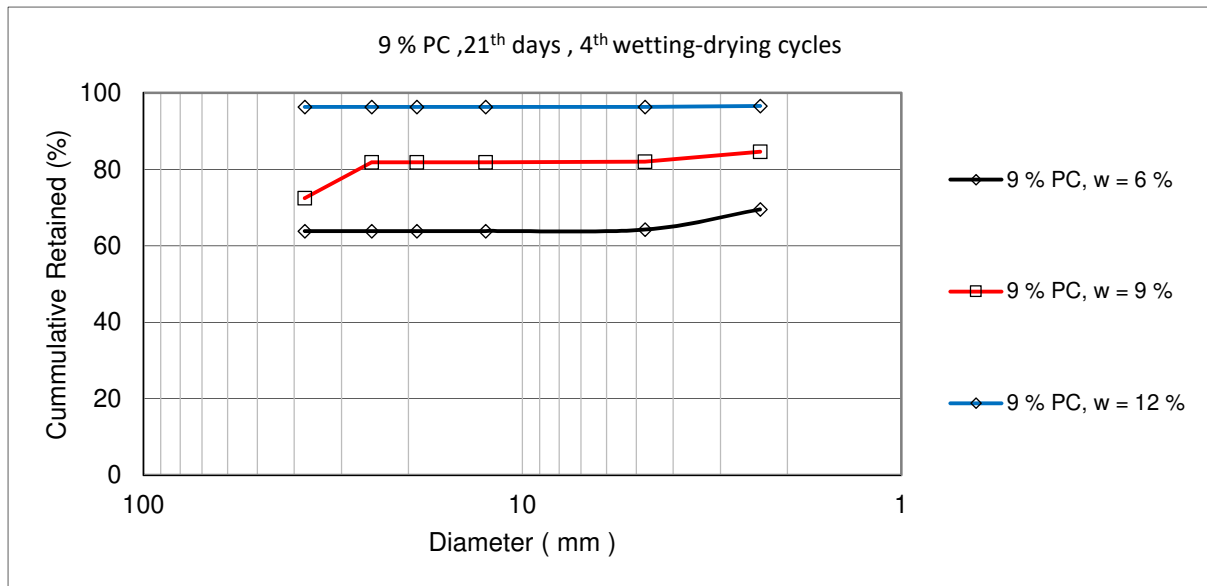
Gambar 4.53 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus pertama hari ke-9 dengan 12% PC



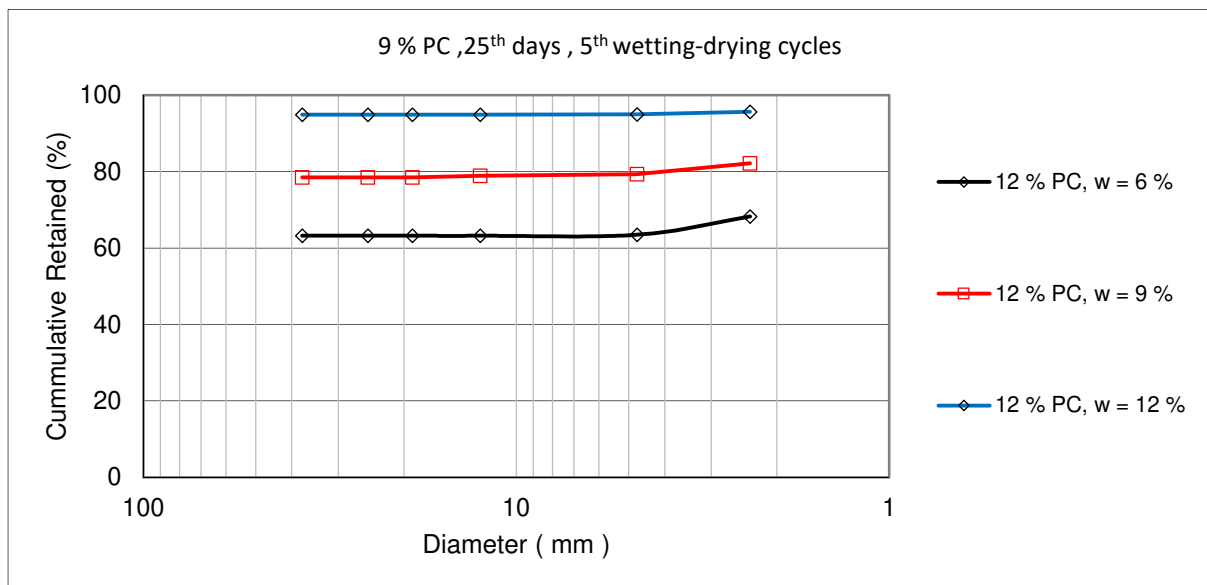
Gambar 4.54 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedua hari ke-13 dengan 12% PC



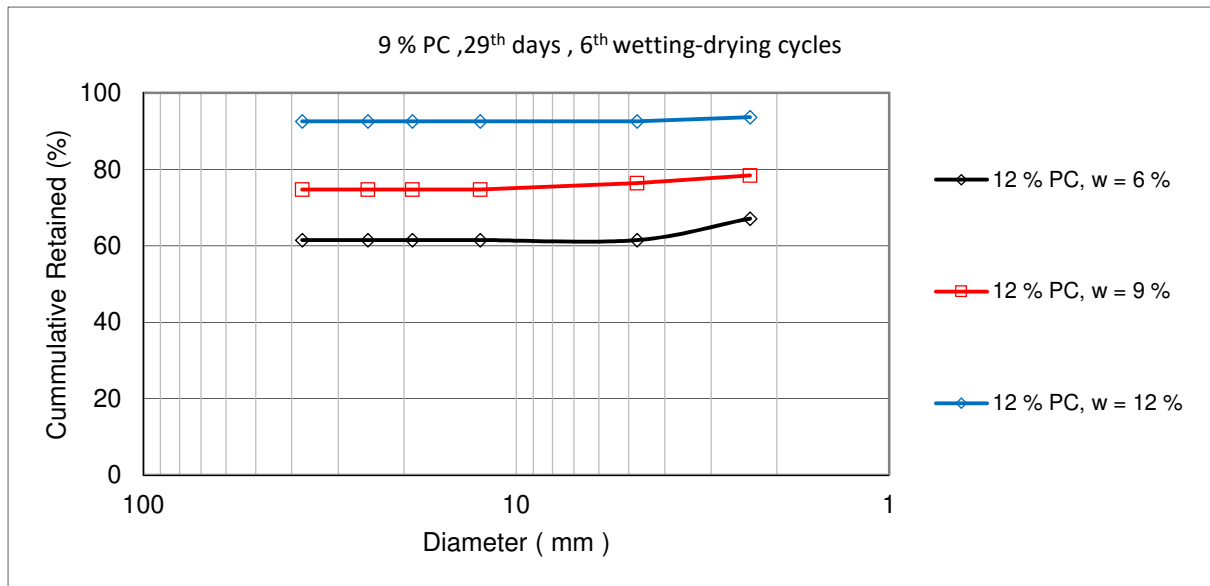
Gambar 4.55 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketiga hari ke-17 dengan 12% PC



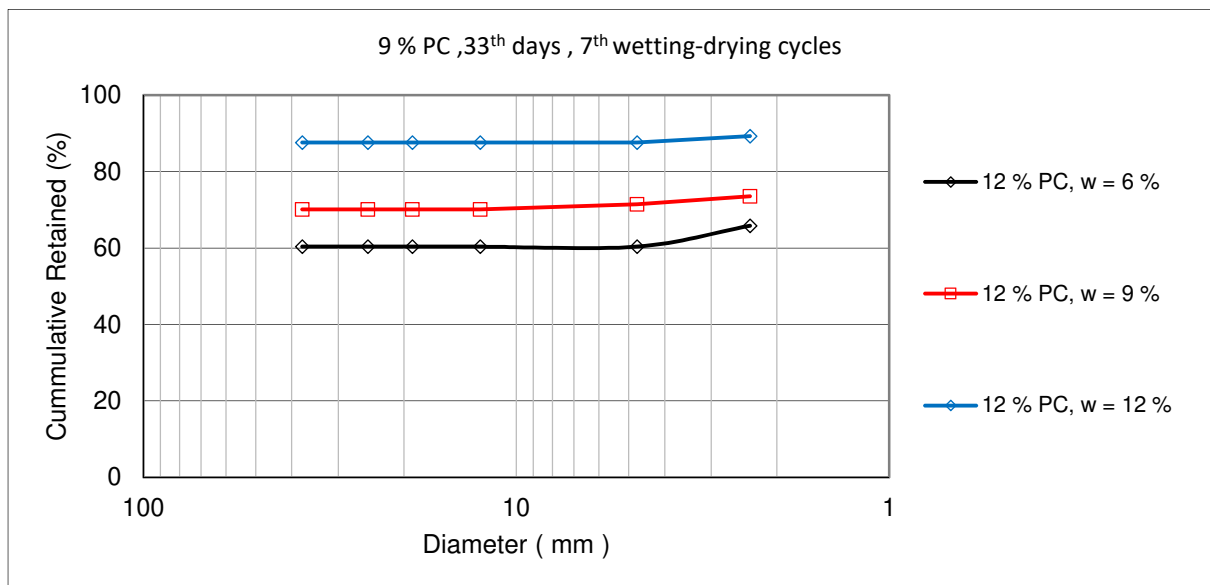
Gambar 4.56 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keempat hari ke-21 dengan 12% PC



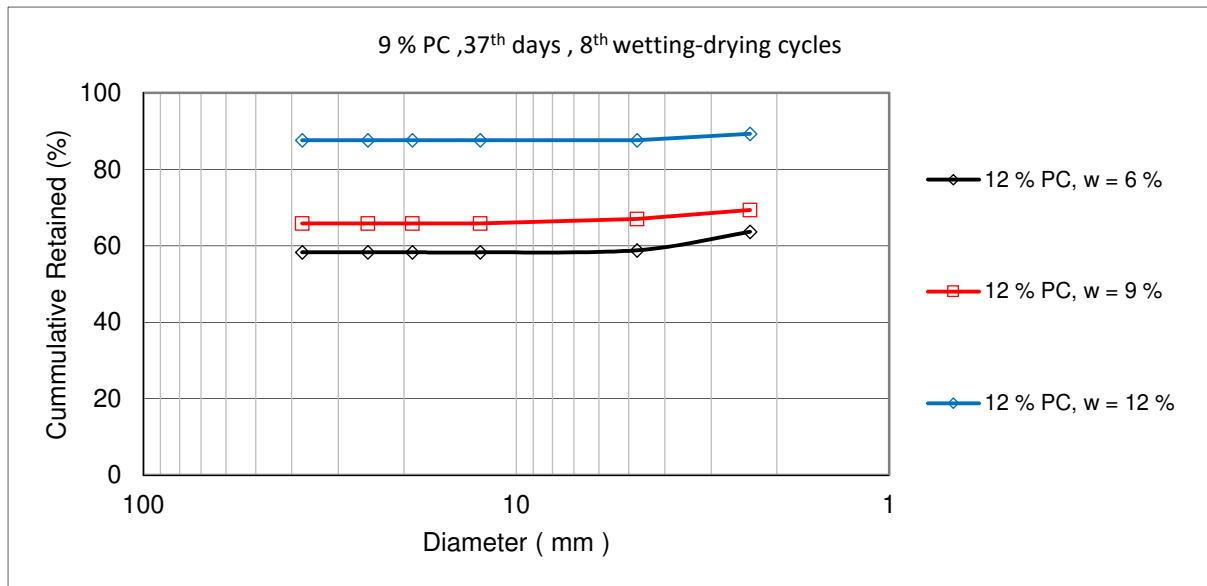
Gambar 4.57 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kelima hari ke-25 dengan 12% PC



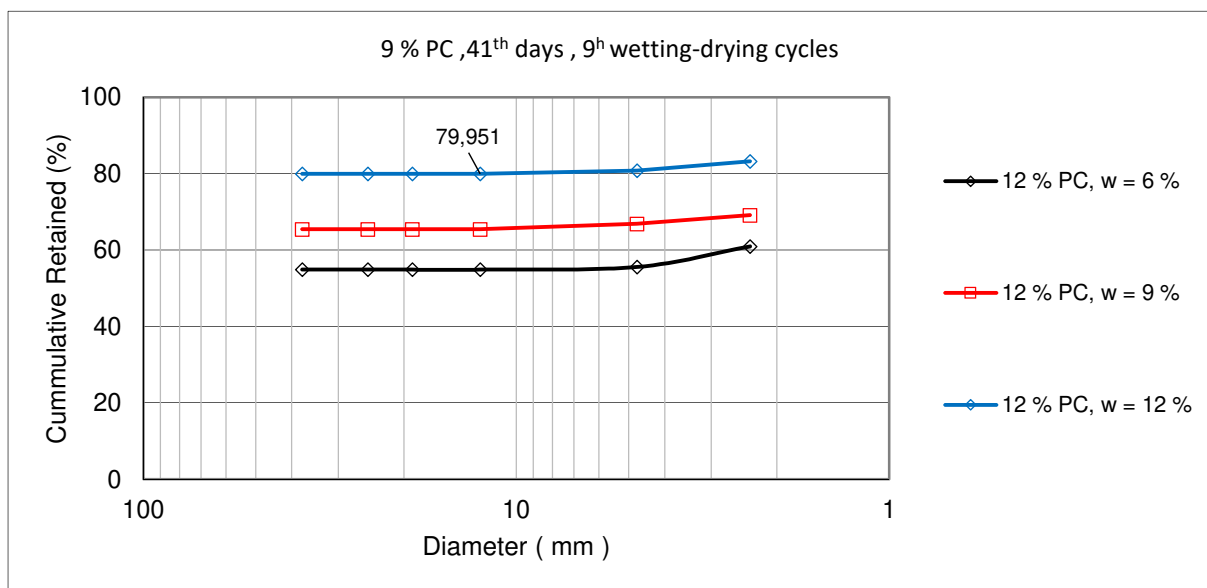
Gambar 4.58 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus keenam hari ke-29 dengan 12% PC



Gambar 4.59 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus ketujuh hari ke-33 dengan 12% PC



Gambar 4.60 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kedelapan hari ke-37 dengan 12% PC

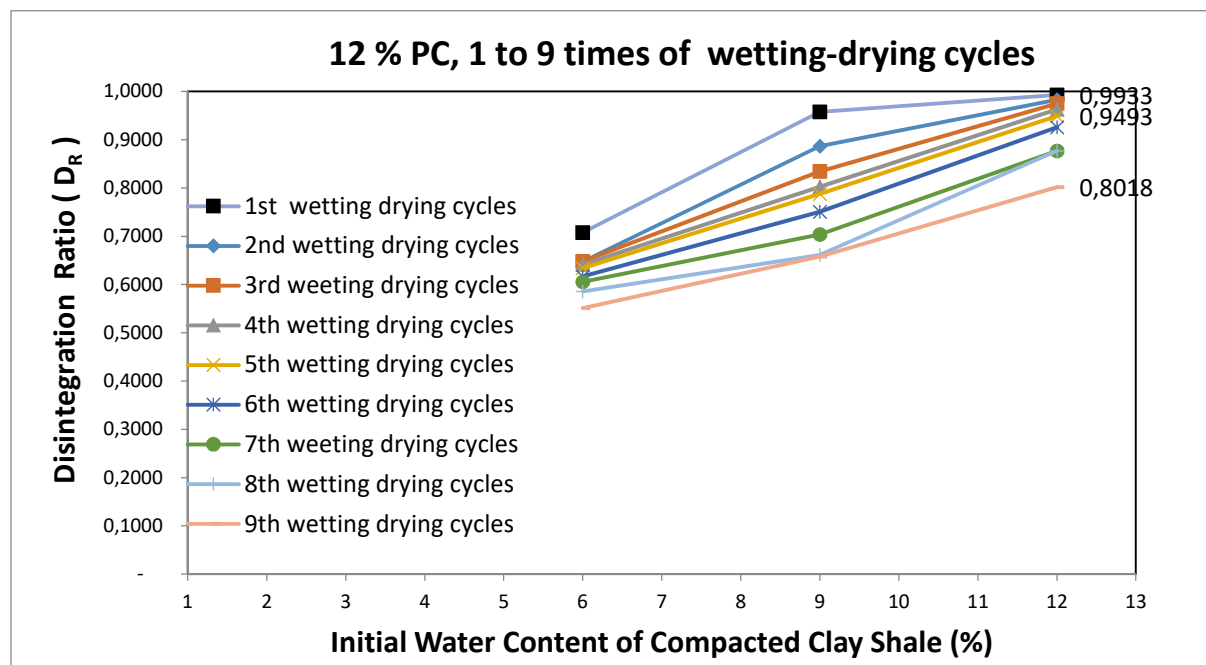


Gambar 4.61 Distribusi butiran clay shale Hambalang lapuk siklus kesembilan hari ke-41 dengan 12% PC

4.12 Penurunan Rasio Disintegritas (D_R) Clay Shale Hambalang Lapuk Yang Dipadatkan Ulang Dengan 12% Portland Cement.

Rasio disintegritas clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang dengan ditambah 12% PC hingga dari siklus ke-1 siklus ke-9 dapat dilihat pada Gambar 4.62. Pada siklus pembasahan dan pengeringan pertama, terlihat bahwa D_R turun disekitar 0.9933 saat dipadatkan dengan kadar air 12% (lebih besar dari w optimum), bahkan pada siklus ke-5 D_R hanya turun dan menjadi 0.9493. Ini jauh lebih baik dibandingkan menggunakan 9% PC dalam memadatkannya. Rasio disintegritas (D_R) pada siklus ke-9 pada kadar air awal 12% menjadi 0.8018. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tambahan 12% portland cement, clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan tahan dari pelapukan hingga 80.2% di siklus ke-9 bila dipadatkan dengan kadar air 12% (lebih besar dari kadar air optimum).

Clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang dengan menambahkan portland cement sebanyak 12% tidak akan melapuk seluruhnya hingga siklus ke-9 bila dipadatkan pada kadar air sebesar 12%. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.62 berikut.



Gambar 4.62 Perilaku penurunan rasio disintegritas (D_R) clay shale Hambalang lapuk yang dibuat dengan 12 % PC dari siklus ke-1 hingga siklus ke-9 dengan tiga kondisi keadaan awal kadar air

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam bab ini, kesimpulan dibuat berdasarkan hasil penelitian serta analisis dan pembahasan penelitian kasus pelapukan ulamng terhadap clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan dengan dan tanpa tambahan prosentase portland cement sebagaio berikut :

Pengamatan perubahan pelapukan clay shale Hambalang, dilakukan sesaat sebelum perendaman dilakukan. Dari hasil penelitian bahwa semakin sedikit % PC dan yang tanpa dicampur dengan PC, maka sampel terlihat lebih cepat terdegradasi atau melapuk. Sampai dengan sebelum hari ke-9, dimana belum dilakukan perendaman, perubahan sampel tidak terlalu signifikan. Tanpa ditambahkan portland cement, clay shale Hambalang lapuk dapat mudah melapuk kembali. Terlihat bahwa dengan tanpa menambahkan portland cement, clay shale Hambalang melapuk lebih dari 50% setelah melewati siklus perendaman pertamanya. Bahkan akan melapuk lebih cepat lagi dan hanya maximum 20% setelah melewati perendaman pada siklus yang ke empat di hari ke-21.

Perubahan grafik kumulatif tertahan dengan ukuran butiran clay shale Hambalang yang dipadatkan ulang tanpa portland cement hingga siklus ke-9 atau dihari ke-41 tanpa tambahan % PC, dimana mulai siklus ke 5 tanah clay shale

Hambalang yang belum melapuk tinggal 10% . Pada siklus ke-9 hampir semua partikel clay shale Hambalang telah melapuk semuanya. Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 12% lebih tahan, dibanding dengan kadar air 9%. Dan sampel dengan kadar air 9% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 6%. Pada siklus pengeringan dan pembasahan pertama, terlihat bahwa D_R langsung turun disekitar 0.1580, bahkan akan lebih kecil dari 0.1000 setelah perendaman di siklus ke-5. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tanpa tambahan semen, clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan cepat melapuk kembali setelah melewati siklus pertamanya. Clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang tanpa menambahkan portland cement, akan melapuk keseluruhannya atau D_R mendekati 0.000 setelah siklus ke-8.

Dengan penambahan 3% portland cement hingga siklus ke-9 atau dihari ke-41 perubahan , dimana mulai siklus ke-1 hingga siklus ke-9 tampak jelas pengaruh penambahan 3% PC dibandingkan 0% PC. Tanah clay shale Hambalang yang ditambah 3% PC dengan kadari air awal yang 6% (lebih kecil dari w optimum), daya tahannya terlihat cukup stabil hingga tertinggal 40% pada siklus ke 9 di hari ke-4. Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 6% lebih tahan, dibanding dengan kadar air 9%. Dan sampel dengan kadar air 9% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 12%. Disini terlihat jelas pengurangan kadar air dan 3% PC saat dipadatkan akan memberikan campuran clay shale Hambalang jauh lebih tahan lauk dibandingkan tanpa menggunakan portland cement.

Pada siklus pembasahan dan pengeringan pertama dengan penambahan 3% PC, terlihat bahwa D_R turun disekitar 0.9055 saat dipadatkan dengan kadar air 6%, bahkan pada siklus ke-5 D_R akan turun lagi menjadi 0.6518. Ini jauh lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan PC dalam memadatkannya. Rasio disintegritas pada sinklus ke-9 apada kadar air awal 6% menjadi 0.3443. Hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan tambahan 3% PC, clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan cepat tahan dari pelapukan hingga 34 % di siklus ke-9 bila dipadatkan dengan kadar air 6%. Clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang dengan menambahkan portland cement sebanyak 3% tidak akan melapuk seluruhnya hingga siklus ke-9 bila dipadatkan pada kadar air sebesar 6%. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.32 berikut.

Tanah clay shale Hambalang yang ditambah 6% PC dengan kadar air awal yang 9% (w optimum), daya tahannya terlihat cukup stabil hingga tertinggal 66.46 % pada siklus ke 9 di hari ke-4, Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 9% (kadar air optimum) lebih tahan, dibanding dengan kadar air 6%. Dan sampel dengan kadar air 12% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 6% hingga siklus ke-6 pembahasan dan pengeringan. Manakala kadar air yang 6% lebih baik dari yang 12% terjadi pada siklus ke 7 hingga ke-9 atau di hari ke-41. Disini terlihat jelas kadar air optimum pegang peranan yang menentukan terhadap kestabilan clay shale Hambalang lapuk yang di stabilisasi dengan 9% PC.

Pada siklus pembasahan dan pengeringan siklus ke-1 apad penambahan 6% PC terlihat bahwa D_R turun disekitar 0.9929 saat dipadatkan dengan kadar air 9% (w optimum), bahkan pada siklus ke-5 D_R hanya turun dan menjadi 0.7852. Ini jauh lebih baik dibandingkan menggunakan 3% PC dalam memadatkannya. Rasio disintegritas (D_R) pada siklus ke-9 apada kadar air awal 9% menjadi 0.5486. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tambahan 6% portland cement, clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan cepat tahan dari pelapukan hingga 55 % di siklus ke-9 bila dipadatkan dengan kadar air 9% (kadar air optimum). Clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang dengan menambahkan portland cement sebanyak 6% tidak akan melapuk seluruhnya hingga siklus ke-9 bila dipadatkan pada kadar air sebesar 9%.

Pada Siklus ke-1 engan penambahan 9 % PC tampaknya pelapukan yang hanya sedikit dan sampel nyaris tidak terlapukan. Dimulai siklus ke-1 hingga siklus ke-9 tampak jelas pengaruh penambahan 9% PC dibandingkan 6% PC. Tanah clay shale Hambalang yang ditambah 9% PC dengan kadari air awal yang 9% (w optimum), daya tahannya terlihat cukup stabil hingga tertinggal 73.29 % pada siklus ke 9 di hari ke-4. Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 9% (kadar air optimum) lebih tahan, dibanding dengan kadar air 6%. Dan sampel dengan kadar air 12% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 6% hingga siklus ke-6 pembahasan dan pengeringan. Manakala kadar air yang 6% lebih baik dari yang 12% terjadi pada siklus ke 7 hingga ke-9 atau di hari ke-41. Disini terlihat jelas kadar air optimum pegang peranan yang menentukan terhadap kestabilan clay shale Hambalang lapuk yang di stabilisasi dengan 9% PC.

Pada siklus pembasahan dan pengeringan pertama dengan penambahan 9% PC, terlihat bahwa D_R turun disekitar 0.9883 saat dipadatkan dengan kadar air 9% (

w optimum), bahkan pada siklus ke-5 D_R hanya turun dan menjadi 0.9078. Ini jauh lebih baik dibandingkan menggunakan 6% PC dalam memadatkannya. Rasio disintegritas (D_R) pada siklus ke-9 apada kadar air awal 9% menjadi 0.7000. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tambahan 9% portland cement, clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan cepat tahan dari pelapukan hingga 70% di siklus ke-9 bila dipadatkan dengan kadar air 9% (kadar air optimum). Clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang dengan menambahkan portland cement sebanyak 9% tidak akan melapuk seluruhnya hingga siklus ke-9 bila dipadatkan pada kadar air sebesar 9%.

Pada siklus ke-1 sampai siklus ke-9 dengan tambahan 9% PC, dimulai siklus ke-1 hingga siklus ke-9 tampak jelas pengaruh penambahan 12 % PC dibandingkan prosentase PC lainnya yang lebih kecil. Tanah clay shale Hambalang yang ditambah 12% PC dengan kadari air awal yang 12% (lebih besar dari w optimum), daya tahannya terlihat cukup stabil hingga tertinggal 79,95 % pada siklus ke 9 di hari ke-4. Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 12% (lebih besar dari kadar air optimum) lebih tahan, dibanding dengan kadar air 9% (w optimum). Dan sampel dengan kadar air 9% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 6% dari siklus ke-1 hingga siklus ke-9 pembahasan dan pengeringan. Disini terlihat jelas kadar air 12% yang lebih besar dari kadar air optimumnya pegang peranan yang menentukan terhadap kestabilan clay shale Hambalang lapuk yang di stabilisasi dengan 12% PC. Hal ini karena pemakaian prosentase portland cement lebih banyak, maka lebih banyak ion hidrigen dibutuhkan.

Pada siklus ke-1 pembasahan dan pengeringan dengan penamabahan 12% PC, terlihat bahwa D_R turun disekitar 0.9933 saat dipadatkan dengan kadar air 12% (lebi besar dari w optimum), bahkan pada siklus ke-5 D_R hanya turun dan menjadi 0.9493. Ini jauh lebih baik dibandingkan menggunakan 9% PC dalam memadatkannya. Rasio disintegritas (D_R) pada siklus ke-9 pada kadar air awal 12% menjadi 0.8018. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tambahan 12% portland cement, clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan tahan dari pelapukan hingga 80.2% di siklus ke-9 bila dipadatkan dengan kadar air 12% (lebih besar dari kadar air optimum). Clay shale Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang dengan menambahkan portland cement sebanyak 12% tidak akan melapuk seluruhnya hingga siklus ke-9 bila dipadatkan pada kadar air sebesar 12%.

5.2 Saran

Dari penelitian diatas, disarankan kepada semua stake holder yang berhubungan dengan perancangan jalan baru yang melalui, agar bila merancang jalur melalui deposit tanah clay shale yang telah lapuk. Penggunaan portland cement sebanyak 6% cukup memperbaiki perilaku pelapukan kedua kalinya dari lapisan tanah clay shale Hambalang.

REFERENSI

- Alatas I. M. (2010). Soil Investigation Report : Pusdiklat Dan Sekolah Olah Raga Nasional, Hambalang, Sentul, Jawa Barat. In *Final Report Soil Investigation*. Jakarta: Geoinves Soil Mechanics Laboratory, Jakarta.
- Alatas, I. M. (2012). Geotechnical Engineering Aspect in Infrastructure Building on Difficulties soil. *C-Line Journal, Civil Eng Departement of ISTN*.
- Alatas, I. M. and Wawan, K. (2016). Shrink and Swell Behaviour of Clay Shale Under Variation of Surcharge Load on Daihatsu Motor Assembly Plant Factory in Surya Cipa Industrial Estate, West Java, Indonesia, March 2016. In *Technical Report: Nippo Corp Japan - Kadii Joint Operation*.
- Alatas I. M., *Kesan Luluhawa Terhadap Kekuatan Ricih Syal Lempung Dalam Penentuan Parameter Kestabilan Cerun*, in *Razak School of Engineering and Advanced Technology*, 2017, Universiti Teknologi Malaysia: 2017.
- ASTM D 422-72 (1989). Standard Method for Particle-Size Analysis of Soils. *Annual Book for ASTM Standard*.
- ASTM D 2216-80 (1989). Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil, Rock, and Soil-Aggregate Mixtures. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- ASTM D 4318-84 (1989). Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- Blatt, H. and Robaert, J. T. (1996). *Igneous, Sedimentary and Metamorphic, 2nd edition, Freeman, pp. 281–292*
- Erguler, Z. A. and Shakoor, A. (2009). Quantification of Fragment Size Distribution of Clay-Bearing Rocks after Slake Durability Testing. *Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XV, No. 2, May 2009, pp. 81–89*.
- Gartung, E. (1986). Excavation of The Hard Clays of The Keuper Formation. *Proceeding of Symposium Geotechnical Engineering Division, Seattle, Washington*.

- GeoInves (2010). Laporan Pendugaan Geolistrik Tahanan Jenis Pada Area Diklat Olahraga Nasional, Sentul, Kabupaten Bogor, Propinsi Jawa Barat. In *Final Report Soil Resistivity by Geolistrik 1 D*.
- Himawan, A. (2011). Kajian Geoteknik Dan Usulan Teknis Kemiringan Lereng Galian Man Road STA 22+375 - 22+840 Dan Sekitar Interchange Bawen. In *Technical Report WIJAYA KARYA PT*.
- Irsyam, M., Endra, S. and Himawan, A. (2007). Slope Failure of an Embankment on Clay Shale KM 97+500 Of The Ciplarang Toll Road and The Selected Solution : A Case Of Slope Failure Due To Strength Degradation Of Clay Shale. *Proceeding of The Geotechnical International Symposium in Bangkok 6-7 December 2007*.
- Irsyam, M., Jataputra, A. A., Himawan, A. and Kartawiria, A. (2011). Kasus-Kasus Kelongsoran Pada Tanah Clay Shale dan Alternatif Penanggulangannya. *Proceeding of the 9th Indonesian Society for Geotechnical Engineers Conference and 15th Yearly Scientific Meeting, Jakarta .December 2011*.
- ISRM (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods: International Society for RockMechanics (ISRM), . Ankara, Turkey.
- LEMIGAS, L. (2015). SEM and XRD Report for Semarang-Bawen and Hambalang Clay Shale. Jakarta: LEMIGAS.
- Mitchell, J. K. and Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behaviour 3rd edition*: John Wiley & Sons, Inc.
- Nandi, A. and Shakoor, A. (2008). Application of logistic regression model for slope instability prediction in Cuyahoga River Watershed, Ohio, USA. *Georisk*. 2 (1), 16-27.
- Sadisun, I. A., Andri S. S., Asep, N. and Prihananto, S. (2006). Weathering Of Some Selected Rock Types And Their Strength Degradation Obtained From Schmidt Hammer. *Proceeding PIT IAGI Riau, The 35th IAGI Annual Convention and Exhibition ,Pekanbaru – Riau, 21 – 22 November 2006*.
- Sadisun, I. A., Bandonu, Shimada, H., Ichinose, M., and Matsui, K. (2010). Physical Disintegration Characterization of Mudrocks Subjected to Slaking Exposure and Immersion Tests. *Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 5 No. 4 Desember 2010: 219-225*.
- Shakoor, A. Gautam, T. P. (2015). Influence of Geologic and Index Properties on Disintegration Behavior of Clay-Bearing Rocks. *Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XXI, No. 3, August 2015, pp. 197–209*.

- Shakoor, A. and Tej, P. G. (2011). Assessing The Slaking Behaviour of Clay- Bearing Rock. *10th Annual Technical Forum Geohazards Impacting Transportation In The Appalachian Region, Columbus Ohio USA.*
- Skempton, A. W. (1977). *Slope Stability of Cuttings in Brown Clay.* Tokyo.
- Timothy. D. S. and Duncan, M. (1991). Mechanisms of strength loss in stiff clays. *Journal of Geotechnical Engineering.* 117 (1), 139-154.
- Van Bemmelen, R. W. (1970). *The Geology of Indonesia Vol. IA, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelago,(2nd ed.).* . Netherland.

LAMPIRAN

0 % PC 9 DAY + 6% Air CYCLE-1

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	857	10,000	#DIV/0!	0,946	0,946	99,054
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,946	99,054
12,5	12,5	444	600	156,000	#DIV/0!	14,759	15,705	84,295
No: 4	4,75	402	600	198,000	#DIV/0!	18,732	34,437	65,563
No: 8	2,36	435	600	165,000	#DIV/0!	15,610	50,047	49,953
Pan	Container	152	680	528,000	#DIV/0!	49,953	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1057,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 9 DAY + 9 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	700	124,000	#DIV/0!	11,689	11,689	88,311
12,5	12,5	444	600	156,000	#DIV/0!	14,706	26,395	73,605
No: 4	4,75	402	600	198,000	#DIV/0!	18,665	45,060	54,940
No: 8	2,36	435	538,8	103,800	#DIV/0!	9,785	54,845	45,155
Pan	Container	152	631	479,000		45,155	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1060,800	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 9 DAY + 12 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	800	224,000	#DIV/0!	21,065	21,065	78,935
12,5	12,5	444	700	256,000	#DIV/0!	24,074	45,138	54,862
No: 4	4,75	402	430	28,000	#DIV/0!	2,633	47,771	52,229
No: 8	2,36	435	542,4	107,400	#DIV/0!	10,100	57,871	42,129
Pan	Container	152	600	448,000		42,129	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1063,400	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 13 DAY + 6% Air CYCLE-2

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	857	10,000	#DIV/0!	0,942	0,942	99,058
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,942	99,058
12,5	12,5	444	575	131,000	#DIV/0!	12,335	13,277	86,723
No: 4	4,75	402	575	173,000	#DIV/0!	16,290	29,567	70,433
No: 8	2,36	435	575	140,000	#DIV/0!	13,183	42,750	57,250
Pan	Container	152	760	608,000	#DIV/0!	57,250	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1062,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 13 DAY + 9 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	0
19	19	576	650	74,000	#DIV/0!	6,976	6,976	93,024
12,5	12,5	444	575	131,000	#DIV/0!	12,349	19,325	80,675
No: 4	4,75	402	575	173,000	#DIV/0!	16,308	35,633	64,367
No: 8	2,36	435	538,8	103,800	#DIV/0!	9,785	45,419	54,581
Pan	Container	152	731	579,000		54,581	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1060,800	0	#DIV/0!	100,000	

0 % PC 13 DAY + 12 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	775	199,000	#DIV/0!	18,820	18,820	81,180
12,5	12,5	444	675	231,000	#DIV/0!	21,846	40,666	59,334
No: 4	4,75	402	424	22,000	#DIV/0!	2,081	42,746	57,254
No: 8	2,36	435	542,4	107,400	#DIV/0!	10,157	52,903	47,097
Pan	Container	152	650	498,000		47,097	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1057,400	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 17 DAY + 6% Air CYCLE-3

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	857	10,000	#DIV/0!	0,951	0,951	99,049
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,951	99,049
12,5	12,5	444	550	106,000	#DIV/0!	10,076	11,027	88,973
No: 4	4,75	402	550	148,000	#DIV/0!	14,068	25,095	74,905
No: 8	2,36	435	550	115,000	#DIV/0!	10,932	36,027	63,973
Pan	Container	152	825	673,000	#DIV/0!	63,973	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1052,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 17 DAY + 9 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	625	49,000	#DIV/0!	4,592	4,592	95,408
12,5	12,5	444	550	106,000	#DIV/0!	9,934	14,527	85,473
No: 4	4,75	402	550	148,000	#DIV/0!	13,871	28,397	71,603
No: 8	2,36	435	520	85,000	#DIV/0!	7,966	36,364	63,636
Pan	Container	152	831	679,000		63,636	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1067,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 17 DAY + 12 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	750	174,000	#DIV/0!	16,323	16,323	83,677
12,5	12,5	444	650	206,000	#DIV/0!	19,325	35,647	64,353
No: 4	4,75	402	420	18,000	#DIV/0!	1,689	37,336	62,664
No: 8	2,36	435	525	90,000	#DIV/0!	8,443	45,779	54,221
Pan	Container	152	730	578,000		54,221	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1066,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC		21 DAY		+ 6% Air		CYCLE-4		
Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	857	10,000	#DIV/0!	0,946	0,946	99,054
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,946	99,054
12,5	12,5	444	510	66,000	#DIV/0!	6,244	7,190	92,810
No: 4	4,75	402	510	108,000	#DIV/0!	10,218	17,408	82,592
No: 8	2,36	435	510	75,000	#DIV/0!	7,096	24,503	75,497
Pan	Container	152	950	798,000	#DIV/0!	75,497	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1057,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC		21 DAY		+ 9 % Air				
Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	615	39,000	#DIV/0!	3,676	3,676	96,324
12,5	12,5	444	535	91,000	#DIV/0!	8,577	12,253	87,747
No: 4	4,75	402	520	118,000	#DIV/0!	11,122	23,374	76,626
No: 8	2,36	435	500	65,000	#DIV/0!	6,126	29,500	70,500
Pan	Container	152	900	748,000		70,500	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1061,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC		21 DAY		+ 12 % Air				
Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	700	124,000	#DIV/0!	11,709	11,709	88,291
12,5	12,5	444	550	106,000	#DIV/0!	10,009	21,719	78,281
No: 4	4,75	402	418	16,000	#DIV/0!	1,511	23,229	76,771
No: 8	2,36	435	500	65,000	#DIV/0!	6,138	29,367	70,633
Pan	Container	152	900	748,000		70,633	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1059,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC		25 DAY		+ 6% Air		CYCLE-5		
Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	857	10,000	#DIV/0!	0,946	0,946	99,054
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,946	99,054
12,5	12,5	444	490	46,000	#DIV/0!	4,352	5,298	94,702
No: 4	4,75	402	490	88,000	#DIV/0!	8,325	13,623	86,377
No: 8	2,36	435	490	55,000	#DIV/0!	5,203	18,827	81,173
Pan	Container	152	1010	858,000	#DIV/0!	81,173	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1057,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC		25 DAY		+ 9 % Air				
Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	600	24,000	#DIV/0!	2,258	2,258	97,742
12,5	12,5	444	510	66,000	#DIV/0!	6,209	8,467	91,533
No: 4	4,75	402	480	78,000	#DIV/0!	7,338	15,804	84,196
No: 8	2,36	435	480	45,000	#DIV/0!	4,233	20,038	79,962
Pan	Container	152	1002	850,000		79,962	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1063,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC		25 DAY		+ 12 % Air				
Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	650	74,000	#DIV/0!	7,008	7,008	92,992
12,5	12,5	444	525	81,000	#DIV/0!	7,670	14,678	85,322
No: 4	4,75	402	412	10,000	#DIV/0!	0,947	15,625	84,375
No: 8	2,36	435	475	40,000	#DIV/0!	3,788	19,413	80,587
Pan	Container	152	1003	851,000		80,587	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1056,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC		29 DAY		+ 6% Air		CYCLE-6		
Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	857	10,000	#DIV/0!	0,946	0,946	99,054
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,946	99,054
12,5	12,5	444	460	16,000	#DIV/0!	1,514	2,460	97,540
No: 4	4,75	402	460	58,000	#DIV/0!	5,487	7,947	92,053
No: 8	2,36	435	470	35,000	#DIV/0!	3,311	11,258	88,742
Pan	Container	152	1090	938,000	#DIV/0!	88,742	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1057,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC		29 DAY		+ 9 % Air				
Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	585	9,000	#DIV/0!	0,848	0,848	99,152
12,5	12,5	444	485	41,000	#DIV/0!	3,864	4,713	95,287
No: 4	4,75	402	460	58,000	#DIV/0!	5,467	10,179	89,821
No: 8	2,36	435	460	25,000	#DIV/0!	2,356	12,535	87,465
Pan	Container	152	1080	928,000		87,465	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1061,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC		29 DAY		+ 12 % Air				
Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	620	44,000	#DIV/0!	4,128	4,128	95,872
12,5	12,5	444	500	56,000	#DIV/0!	5,253	9,381	90,619
No: 4	4,75	402	415	13,000	#DIV/0!	1,220	10,600	89,400
No: 8	2,36	435	460	25,000	#DIV/0!	2,345	12,946	87,054
Pan	Container	152	1080	928,000		87,054	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1066,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 33 DAY + 6% Air CYCLE-7

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	857	10,000	#DIV/0!	0,946	0,946	99,054
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,946	99,054
12,5	12,5	444	450	6,000	#DIV/0!	0,568	1,514	98,486
No: 4	4,75	402	450	48,000	#DIV/0!	4,541	6,055	93,945
No: 8	2,36	435	450	15,000	#DIV/0!	1,419	7,474	92,526
Pan	Container	152	1130	978,000	#DIV/0!	92,526	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1057,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 33 DAY + 9 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	580	4,000	#DIV/0!	0,377	0,377	99,623
12,5	12,5	444	470	26,000	#DIV/0!	2,448	2,825	97,175
No: 4	4,75	402	450	48,000	#DIV/0!	4,520	7,345	92,655
No: 8	2,36	435	455	20,000	#DIV/0!	1,883	9,228	90,772
Pan	Container	152	1116	964,000		90,772	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1062,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 33 DAY + 12 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	620	44,000	#DIV/0!	4,175	4,175	95,825
12,5	12,5	444	480	36,000	#DIV/0!	3,416	7,590	92,410
No: 4	4,75	402	403	1,000	#DIV/0!	0,095	7,685	92,315
No: 8	2,36	435	450	15,000	#DIV/0!	1,423	9,108	90,892
Pan	Container	152	1110	958,000		90,892	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1054,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 37 DAY + 6% Air CYCLE-8

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
12,5	12,5	444	450	6,000	#DIV/0!	0,568	0,568	99,432
No: 4	4,75	402	445	43,000	#DIV/0!	4,068	4,636	95,364
No: 8	2,36	435	440	5,000	#DIV/0!	0,473	5,109	94,891
Pan	Container	152	1155	1003,000	#DIV/0!	94,891	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1057,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 37 DAY + 9 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
12,5	12,5	444	450	6,000	#DIV/0!	0,562	0,562	99,438
No: 4	4,75	402	450	48,000	#DIV/0!	4,494	5,056	94,944
No: 8	2,36	435	480	45,000	#DIV/0!	4,213	9,270	90,730
Pan	Container	152	1121	969,000		90,730	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1068,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 37 DAY + 12 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	615	39,000	#DIV/0!	3,700	3,700	96,300
12,5	12,5	444	470	26,000	#DIV/0!	2,467	6,167	93,833
No: 4	4,75	402	402,5	0,500	#DIV/0!	0,047	6,214	93,786
No: 8	2,36	435	445	10,000	#DIV/0!	0,949	7,163	92,837
Pan	Container	152	1130,5	978,500		92,837	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1054,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 41 DAY + 6% Air CYCLE-9

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
12,5	12,5	444	447	3,000	#DIV/0!	0,284	0,284	99,716
No: 4	4,75	402	424	22,000	#DIV/0!	2,083	2,367	97,633
No: 8	2,36	435	438	3,000	#DIV/0!	0,284	2,652	97,348
Pan	Container	152	1180	1028,000	#DIV/0!	97,348	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1056,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 41 DAY + 9 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	847	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
12,5	12,5	444	444	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	100,000
No: 4	4,75	402	445	43,000	#DIV/0!	3,682	3,682	96,318
No: 8	2,36	435	450	15,000	#DIV/0!	1,284	4,966	95,034
Pan	Container	152	1262	1110,000		95,034	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1168,000	#DIV/0!	100,000		

0 % PC 41 DAY + 12 % Air

Sieve No or Size	Opening Size (mm)	Weight of Sieve	Weight of Sieve+Soil	Weight of Wet Soil	Weight of Dry Soil	% Retained	% Cum Retained	% Finer
37,5	37,5	567	567,0	0,000	#DIV/0!	0,000	0,000	
25	25	847	857	10,000	#DIV/0!	0,949	0,949	99,051
19	19	576	576	0,000	#DIV/0!	0,000	0,949	99,051
12,5	12,5	444	447,1	3,100	#DIV/0!	0,294	1,243	98,757
No: 4	4,75	402	402	0,000	#DIV/0!	0,000	1,243	98,757
No: 8	2,36	435	435	0,000	#DIV/0!	0,000	1,243	98,757
Pan	Container	152	1193	1041,000		98,757	100,000	0,000
TOTAL SOIL				1054,100	#DIV/0!	100,000		

**PERHITUNGAN DISINTEGRATION
RATIO 0% PC**

	CYCLE-1			CYCLE-2			CYCLE-3			CYCLE-4			CYCLE-5		
INITIAL	5,912961	0	0	5,885122	0	0	5,941065	0	0	5,912961	0	0	5,912961	0	0
	5,676443	35,06787	63,19353	5,649718	20,9276	56,45924	5,703422	13,77694	48,96811	5,676443	11,02733	35,12748	5,676443	6,773283	21,02273
	54,11542	123,7745	215,1589	46,20998	85,47794	193,328	38,92586	62,13683	168,9024	26,44276	51,7672	108,6402	20,29328	34,85419	70,47822
	194,2999	276,8901	360,0244	166,0193	212,9643	323,2221	139,9715	166,3308	282,8096	95,31693	138,0537	174,1737	73,32072	94,04986	117,4242
	100,9588	119,3873	126,2425	86,41808	96,85718	114,3014	73,0404	77,38941	99,32176	50,08373	63,1852	62,85316	38,77815	42,83114	41,87027
3514	360,96	555,12	764,62	310,18	416,23	687,31	263,58	319,63	600,00	183,43	264,03	380,79	143,98	178,51	250,80
D_R (%)	0,1027	0,1580	0,2176	0,0883	0,1184	0,1956	0,0750	0,0910	0,1707	0,0522	0,0751	0,1084	0,0410	0,0508	0,0714
	CYCLE-6			CYCLE-7			CYCLE-8			CYCLE-9					
	5,912961	0	0	5,912961	0	0	0	0	0	0	0	5,929229			
	5,676443	2,544769	12,38274	5,676443	1,129944	12,52372	0	0	11,10057	0	0	5,69206			
	11,06906	18,07257	43,90244	7,994324	10,4049	38,23529	1,844844	1,825843	32,06831	0,923295	0	7,12219			
	40,3264	57,705	77,4273	29,32829	39,40678	59,19118	20,1632	21,76966	47,97794	10,27462	14,26584	9,631439			
	22,95033	27,14373	28,13743	16,16698	19,80414	20,06784	11,64475	17,11938	15,98624	5,997633	10,33348	2,970212			
	85,94	105,47	161,85	65,08	70,75	130,02	33,65	40,71	107,13	17,20	24,60	31,35			
	0,0245	0,0300	0,0461	0,0185	0,0201	0,0370	0,0096	0,0116	0,0305	0,0049	0,0070	0,0089			

	D _R in Percentage of 0 PC (%)								
Initial w %	CYCLE 1	CYCLE 2	CYCLE 3	CYCLE 4	CYCLE 5	CYCLE 6	CYCLE 7	CYCLE 8	CYCLE 9
6	0,1027	0,0883	0,0750	0,0522	0,0410	0,0245	0,0185	0,0096	0,0049
9	0,1580	0,1184	0,0910	0,0751	0,0508	0,0300	0,0201	0,0116	0,0070
12	0,2176	0,1956	0,1707	0,1084	0,0714	0,0461	0,0370	0,0305	0,0089

PERHITUNGAN DISINTEGRATION RATIO

	CYCLE-1			CYCLE-2			CYCLE-3			CYCLE-4			CYCLE-5		
INITIAL	1130,233	1133,482	940,9341	1045,823	992,921	828,2967	1003,808	611,3295	705,5787	908,2101	659,7275	494,966	796,0184	397,9103	396,0736
	542,512	544,0716	451,6484	501,9948	476,6021	397,5824	494,8387	375,6236	338,6778	443,5965	396,8554	274,7174	382,0888	264,1564	208,8962
	587,7214	589,4109	489,2857	543,8277	516,3189	436,4286	536,0753	500,8067	368,6855	488,8564	443,024	321,3623	418,5373	321,5107	239,5113
	702,7897	704,204	583,3791	648,8647	616,1885	539,0934	644,3519	610,0743	445,1186	600,0566	549,397	397,0249	523,3814	395,8206	314,2985
	218,7914	219,3952	182,2703	201,672	191,0931	171,2396	204,2351	193,6691	143,3843	191,1487	177,0884	129,5184	170,3412	132,788	107,0972
3514	3182,05	3190,56	2647,52	2942,18	2793,12	2372,64	2883,31	2291,50	2001,44	2631,87	2226,09	1617,59	2290,37	1512,19	1265,88
DR (%)	0,9055	0,9080	0,7534	0,8373	0,7949	0,6752	0,8205	0,6521	0,5696	0,7490	0,6335	0,4603	0,6518	0,4303	0,3602
	CYCLE-6			CYCLE-7			CYCLE-8			CYCLE-9					
	662,515	376,5522	269,1125	649,9159	293,0136	22,66234	500,9025	191,3559	29,53297	396,9443	50,96154	8,92759			
	327,7311	216,1582	149,6046	311,9597	140,6465	21,75585	240,4332	127,2099	29,67033	190,5333	60	8,570487			
	363,6255	254,7486	168,8543	350,1321	197,9278	43,56664	268,6823	173,7723	35,71429	216,5368	95	9,284694			
	452,6261	327,0849	227,1625	443,6149	304,6212	110,0209	347,3977	240,9684	69,83516	298,902	155	33,21064			
	147,7611	110,0287	80,73863	142,6309	103,3152	52,06214	117,0554	86,78238	36,37527	107,2851	57,54385	23,9105			
	1954,26	1284,57	895,47	1898,25	1039,52	250,07	1474,47	820,09	201,13	1210,20	418,51	83,90			
	0,5561	0,3656	0,2548	0,5402	0,2958	0,0712	0,4196	0,2334	0,0572	0,3444	0,1191	0,0239			
	D _R in Percentage of 3 PC (%)														
Initial w %	CYCLE 1	CYCLE 2	CYCLE 3	CYCLE 4	CYCLE 5	CYCLE 6	CYCLE 7	CYCLE 8	CYCLE 9						
6	0,9055	0,8373	0,8205	0,7490	0,6518	0,5561	0,5402	0,4196	0,3444						
9	0,9080	0,7949	0,6521	0,6335	0,4303	0,3656	0,2958	0,2334	0,1191						
12	0,7534	0,6752	0,5696	0,4603	0,3602	0,2548	0,0712	0,0572	0,0239						

**PERHITUNGAN DISINTEGRATION RATIO 6%
PC**

	CYCLE-1			CYCLE-2			CYCLE-3			CYCLE-4			CYCLE-5		
INITIAL	1210,343	1241,123	1208,255	1030,702	1096,324	1061,262	892,7315	1039,561	924,0629	872,1655	999,5198	884,4983	800,772	980,8628	745,3807
	580,9647	595,7392	579,9622	494,7368	526,2357	509,4059	428,5111	505,5904	463,6329	418,6394	481,6901	443,4352	384,3705	470,8141	357,7828
	629,3785	645,3841	628,2924	535,9649	570,0887	551,8564	464,2204	547,7229	504,6321	453,5261	521,831	480,3882	416,4014	510,0486	393,4211
	751,7838	769,4964	751,5595	639,0351	679,7212	657,9827	557,1278	654,0457	609,4005	542,9508	622,1831	578,0794	498,8717	608,1349	483,8326
	233,1089	237,3799	233,3526	201,6825	213,2522	208,2376	178,2553	204,2981	193,6388	172,3195	192,6383	183,6537	158,4439	189,4072	155,2162
3514	3405,58	3489,12	3401,42	2902,12	3085,62	2988,75	2520,85	2951,22	2695,37	2459,60	2817,86	2570,05	2258,86	2759,27	2135,63
DR (%)	0,9691	0,9929	0,9680	0,8259	0,8781	0,8505	0,7174	0,8398	0,7670	0,6999	0,8019	0,7314	0,6428	0,7852	0,6077
	CYCLE-6			CYCLE-7			CYCLE-8			CYCLE-9					
	760,4625	861,2332	757,7712	735,905	797,9616	658,0521	730,8462	525,1071	638,5666	533,8983	501,4293	397,2717			
	365,022	413,3919	371,8561	353,2344	383,0215	315,865	350,8062	336,3541	314,9701	256,2712	319,5808	190,6904			
	395,4405	447,8413	411,6471	382,6706	414,94	352,4175	380,04	456,2684	343,3664	340,4997	431,8366	237,887			
	473,4217	539,9754	497,3075	456,2611	507,0346	438,5844	453,6719	546,3363	417,6647	508,891	515,4359	343,3992			
	148,9381	171,3873	158,65	142,9036	162,7149	141,2423	141,6223	170,9629	134,4971	171,6721	159,637	119,7528			
	2143,28	2433,83	2197,23	2070,97	2265,67	1906,16	2056,99	2035,03	1849,06	1811,23	1927,92	1289,00			
	0,6099	0,6926	0,6253	0,5893	0,6448	0,5424	0,5854	0,5791	0,5262	0,5154	0,5486	0,3668			
	D _R in Percentage of 6 PC (%)														
Initial w %	CYCLE 1	CYCLE 2	CYCLE 3	CYCLE 4	CYCLE 5	CYCLE 6	CYCLE 7	CYCLE 8	CYCLE 9						
6	0,9691	0,8259	0,7174	0,6999	0,6428	0,6099	0,5893	0,5854	0,5154						
9	0,9929	0,8781	0,8398	0,8019	0,7852	0,6926	0,6448	0,5791	0,5486						
12	0,9680	0,8505	0,7670	0,7314	0,6077	0,6253	0,5424	0,5262	0,3668						

**PERHITUNGAN DISINTEGRATION RATIO 9%
PC**

	CYCLE-1			CYCLE-2			CYCLE-3			CYCLE-4			CYCLE-5		
INITIAL	1243,703	1235,431	1245,347	1218,632	1197,254	1178,996	1172,951	1150,545	1139,637	1124,731	1147,899	1109,987	1096,99	1131,953	1007,655
	596,9773	593,007	597,7667	584,9435	579,1908	565,9181	563,0163	567,7291	547,0257	539,8711	554,3363	532,7935	526,5554	543,3376	483,6743
	646,7254	642,4242	647,5806	633,6888	627,4566	613,0779	609,9343	618,3911	592,6112	584,8604	604,1544	577,193	570,435	588,6158	523,9805
	771,0957	765,9674	772,1154	755,5521	748,1214	730,9775	728,502	738,2206	706,5749	700,4676	723,8851	688,1916	682,0941	705,6848	626,321
	237,796	236,2145	238,1104	233,0025	231,678	225,424	226,4568	228,6379	219,3395	218,8694	225,074	213,8099	213,2202	220,3927	197,0026
3514	3496,30	3473,04	3500,92	3425,82	3383,70	3314,39	3300,86	3303,52	3205,19	3168,80	3255,35	3121,97	3089,30	3189,98	2838,63
DR (%)	0,9950	0,9883	0,9963	0,9749	0,9629	0,9432	0,9393	0,9401	0,9121	0,9018	0,9264	0,8884	0,8791	0,9078	0,8078
	CYCLE-6			CYCLE-7			CYCLE-8			CYCLE-9					
	916,7515	1089,199	897,5786	843,9634	926,4446	809,5334	798,1022	934,1689	639,7919	753,6079	840,8111	647,0133			
	449,6566	522,8157	430,8377	405,1024	467,3349	388,576	383,0891	470,3643	335,7	361,7318	403,5893	310,5664			
	487,128	568,8362	466,7409	441,7923	530,8078	420,9574	418,1479	510,8176	368,2556	394,949	456,8028	336,4469			
	584,7494	682,3856	560,7328	531,2959	636,5419	504,3008	507,7352	610,9582	446,4416	479,53	575,673	410,497			
	186,0139	212,792	178,1619	169,0492	199,5284	159,4936	162,6416	191,4212	141,9192	154,0358	183,0309	133,684			
	2624,30	3076,03	2534,05	2391,20	2760,66	2282,86	2269,72	2717,73	1932,11	2143,85	2459,91	1838,21			
	0,7468	0,8754	0,7211	0,6805	0,7856	0,6496	0,6459	0,7734	0,5498	0,6101	0,7000	0,5231			
	D _R in Percentage of 9 PC (%)														
Initial w %	CYCLE 1	CYCLE 2	CYCLE 3	CYCLE 4	CYCLE 5	CYCLE 6	CYCLE 7	CYCLE 8	CYCLE 9						
6	0,9950	0,9749	0,9393	0,9018	0,8791	0,7468	0,6805	0,6459	0,6101						
9	0,9883	0,9629	0,9401	0,9264	0,9078	0,8754	0,7856	0,7734	0,7000						
12	0,9963	0,9432	0,9121	0,8884	0,8078	0,7211	0,6496	0,5498	0,5231						

**PERHITUNGAN DISINTEGRATION RATIO 12 %
PC**

	CYCLE-1			CYCLE-2			CYCLE-3			CYCLE-4			CYCLE-5		
INITIAL	882,4864	1196,47	1241,588	806,314	1107,666	1228,736	806,7334	1491,653	1218,684	798,5061	964,1042	1203,825	790,1932	980,663	1186,113
	423,5935	574,3056	595,9623	387,0307	531,6798	589,7934	387,232	379,9677	584,9684	383,2829	490,9784	577,8358	379,2927	470,7182	569,3343
	458,8929	622,1644	645,6258	419,2833	575,9865	638,9429	419,5014	411,6317	633,7157	415,2232	531,8933	625,9888	410,9005	511,4411	616,7789
	547,1416	741,8113	769,7847	499,9147	686,7531	761,8165	501,9187	491,0003	755,5841	496,48	635,0757	746,3713	490,8616	613,1849	735,8732
	174,2257	230,4248	237,3917	162,1883	215,0192	234,9344	162,0744	158,722	233,1754	159,8296	199,1621	230,5428	157,4019	193,0321	227,8276
3514	2486,34	3365,18	3490,35	2274,73	3117,10	3454,22	2277,46	2932,97	3426,13	2253,32	2821,21	3384,56	2228,65	2769,04	3335,93
DR (%)	0,7076	0,9576	0,9933	0,6473	0,8871	0,9830	0,6481	0,8347	0,9750	0,6412	0,8028	0,9632	0,6342	0,7880	0,9493
	CYCLE-6			CYCLE-7			CYCLE-8			CYCLE-9					
	768,7125	934,4338	1157,177	754,5333	875,9377	1095,105	728,4907	823,505	1095,105	685,5746	818,3838	999,3906			
	368,982	448,5282	555,4448	362,176	420,4501	525,6506	349,6756	395,2824	525,6506	329,0758	392,8242	479,7075			
	399,7305	485,9056	601,7319	392,3573	455,4876	569,4548	378,8152	428,2226	569,4548	356,4988	425,5596	519,6831			
	476,6017	585,656	717,4495	467,8106	548,3136	678,9653	453,8062	514,8643	678,9653	427,811	512,8459	622,692			
	153,7119	185,0091	222,5326	150,8111	173,2716	211,398	146,381	162,9197	211,398	139,2232	162,5232	195,9043			
	2167,74	2639,53	3254,34	2127,69	2473,46	3080,57	2057,17	2324,79	3080,57	1938,18	2312,14	2817,38			
	0,6169	0,7511	0,9261	0,6055	0,7039	0,8767	0,5854	0,6616	0,8767	0,5516	0,6580	0,8018			
	D _R in Percentage of 12 PC (%)														
Initial w %	CYCLE 1	CYCLE 2	CYCLE 3	CYCLE 4	CYCLE 5	CYCLE 6	CYCLE 7	CYCLE 8	CYCLE 9						
6	0,7076	0,6473	0,6481	0,6412	0,6342	0,6169	0,6055	0,5854	0,5516						
9	0,9576	0,8871	0,8347	0,8028	0,7880	0,7511	0,7039	0,6616	0,6580						
12	0,9933	0,9830	0,9750	0,9632	0,9493	0,9261	0,8767	0,8767	0,8018						