

PENGARUH SIKLUS KOMPAKSI TERHADAP SUDUT GESER DALAM MATERIAL *CRUSHED LIMESTONE*

Daniel Liberyanto
NRP: 1321054

Pembimbing: Andrias Suhendra Nugraha, S.T., M.T.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi dan material yang pesat pada bidang Teknik Sipil menyebabkan munculnya inovasi material pengganti atau alternatif seperti batu kapur (*limestone*). *Crushed limestone* merupakan batuan yang memiliki ukuran butir pasir yang biasa digunakan sebagai material perkerasan jalan. Kekuatan konstruksi jalan dipengaruhi oleh lapisan fondasi (*subgrade*) dan ketahanan terhadap gaya yang bekerja. Untuk memodelkan besar dan repetisi beban pada lapisan *subgrade* konstruksi jalan, dilakukan uji kompaksi dengan 3 siklus, kemudian dilakukan pengujian geser langsung (*direct shear*) pada setiap sampel yang sudah mengalami siklus kompaksi untuk mengetahui besarnya kuat geser material tersebut.

Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh siklus kompaksi terhadap nilai sudut geser dalam (ϕ). Material uji yang digunakan adalah *crushed limestone* 2mm dengan jenis gradasi buruk (*poorly graded*) berasal dari kawasan karst Citatah Rajamandala, Padalarang. Uji *direct shear* laboratorium yang dilakukan menggunakan metode *under consolidated drained condition* dan mengacu pada standar uji ASTM D3080.

Dari hasil penelitian diperoleh nilai sudut geser dalam (ϕ) pada siklus 1 sebesar $54,1^\circ$, siklus 2 sebesar $56,08^\circ$, dan siklus 3 sebesar $57,48^\circ$. Siklus kompaksi hanya merubah nilai sudut geser dalam (ϕ) pada siklus 2 sebesar 3,66%, dan pada siklus 3 sebesar 6,25%, masing-masing dibandingkan terhadap siklus 1.

Kata Kunci: *Crushed Limestone*, Kompaksi, Siklus Kompaksi, *Direct Shear*, Sudut Geser Dalam (ϕ).

EFFECT OF CYCLIC COMPACTION TO ANGLE OF INTERNAL FRICTION OF CRUSHED LIMESTONE MATERIAL

Daniel Liberyanto
NRP: 1321054

Supervisor: Andrias Suhendra Nugraha, S.T., M.T.

ABSTRACT

The development of technology and material rapidly in the field of civil engineering material innovations led to emergence a replacements or alternatives materials such as limestone. Crushed limestone is a rock that has grain size of sand that is commonly used as a road pavement material. The strength of the road construction is influenced by foundation layers (subgrade) and resistance to the forces that work on the road. To modeling load repetition and magnitude on subgrade layers of road construction, compaction test performed in the laboratory with 3 cycles, then direct shear tests performed to any samples that have already experienced the cycle of compaction to know the magnitude of shear strength of the material.

The research aims to analyze the influence of cyclic compaction to angle of internal friction (ϕ). The test material used is crushed limestone 2 mm with poor gradation type (poorly graded), the material originates from the karst region Citatah Rajamandala, Padalarang. Laboratory direct shear tests conducted using laboratory methods under consolidated drained conditions and refers to the standard ASTM D3080 test.

From the result of research, it is found that the angle of internal friction value (ϕ) at the 1st cycle is 54.1°, the 2nd cycle 2 is 56.08°, and the 3rd is 57.48°. The cyclic compaction just changes the value of the angle of internal friction (ϕ) on 2nd cycle by 3.66%, and on 3rd cycle by 6.25%, respectively compared against the 1st cycle.

Key Words: *Crushed Limestone, Compaction, Cyclic Compaction, Direct Shear, Angle of Internal Friction (ϕ).*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN	iv
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	v
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN LITERATUR	
2.1 <i>Limestone</i>	4
2.1.1 Kandungan <i>Limestone</i>	5
2.1.2 Jenis <i>Limestone</i>	6
2.1.3 Klasifikasi <i>Limestone</i>	7
2.1.4 Fungsi <i>Limestone</i>	8
2.2 <i>Shear Strength</i> (Kuat Geser)	9
2.2.1 Uji Geser Langsung (<i>Direct Shear Test</i>)	12
2.2.2 Jenis Pengujian <i>Direct Shear</i>	15
2.2.3 Sudut Geser Dalam (ϕ) Untuk Berbagai Jenis Tanah.....	16
2.2.4 Menentukan Koefisien Konsolidasi (C_v) Menggunakan Metode Akar Waktu (<i>Square Root of Time Method</i>)	18
2.2.5 Menentukan <i>Displacement Rate</i> (d_r)	19
2.3 Pengaruh Siklus Kompaksi Terhadap $\gamma_{dry\ max}$	21
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Material Uji	26
3.3 Persiapan Sampel Uji di Laboratorium	27
3.3.1 Proses <i>Quartering</i>	27
3.3.2 Pengujian Kadar Air (<i>Water Content</i>), w	28
3.3.3 Pengujian Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>), G_s	30
3.3.4 Pengujian Kompaksi.....	31
3.4 Pengujian <i>Direct Shear</i> Laboratorium	38
3.4.1 Persiapan Alat.....	39
3.4.2 Persiapan Sampel Uji.....	41

3.4.3 Pengujian <i>Direct Shear Under Consolidated Drained Condition</i>	43
BAB IV ANALISIS DATA	
4.1 Penamaan Sampel Uji	48
4.2 Hasil Uji Indeks Properti Material <i>Crushed Limestone</i>	48
4.2.1 <i>Water Content, w</i>	48
4.2.2 <i>Specific Gravity, G_s</i>	49
4.3 Pengujian Kompaksi	50
4.3.1 Hasil Uji Kompaksi	50
4.4 Pengujian <i>Direct Shear Under Consolidated Drained Condition</i>	51
4.4.1 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 1	51
4.4.1.1 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 1 <i>Normal Stress</i> 1	51
4.4.1.2 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 1 <i>Normal Stress</i> 2	53
4.4.1.3 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 1 <i>Normal Stress</i> 3	54
4.4.1.4 Gabungan Hasil Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 1	56
4.4.2 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 2	58
4.4.2.1 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 2 <i>Normal Stress</i> 1	58
4.4.2.2 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 2 <i>Normal Stress</i> 2	60
4.4.2.3 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 2 <i>Normal Stress</i> 3	61
4.4.2.4 Gabungan Hasil Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 2	63
4.4.3 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 3	65
4.4.3.1 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 3 <i>Normal Stress</i> 1	65
4.4.3.2 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 3 <i>Normal Stress</i> 2	67
4.4.3.3 Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 3 <i>Normal Stress</i> 3	68
4.4.3.4 Gabungan Hasil Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 3	70
4.5 Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SU <i>Crushed Limestone</i> 2mm	72
4.6 Pengaruh Siklus Kompaksi Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ) ...	73
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Simpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Contoh <i>Limestone</i>	4
Gambar 2.2	<i>Crushed Limestone</i> 2mm	5
Gambar 2.3	Golongan Batuan Sedimen Utama Serta Proses-proses Pembentukannya	7
Gambar 2.4	Lingkaran <i>Mohr</i>	11
Gambar 2.5	Potongan Melintang <i>Shear Box</i>	13
Gambar 2.6	Kurva Tegangan-Regangan (Tipikal <i>Dense Sand</i>)	14
Gambar 2.7	Kurva Deformasi-Regangan (Tipikal <i>Dense Sand</i>)	14
Gambar 2.8	Kurva Tegangan Geser-Tegangan Normal	14
Gambar 2.9	Kurva <i>Angle of Internal Friction</i> (ϕ) vs <i>Unit Weight</i> (γ)	17
Gambar 2.10	Kurva <i>Peak Angle of Internal Friction</i> (ϕ'_{max}) vs <i>Relative</i> <i>Density</i> (D_r)	17
Gambar 2.11	Kurva <i>Angle of Internal Friction</i> (ϕ) vs <i>Mean Normal Stress</i>	18
Gambar 2.12	Menentukan Koefisien Konsolidasi Menggunakan Metode Akar Waktu (<i>Square Root of Time</i>)	19
Gambar 2.13	Kurva Kompaksi Gabungan SUa (<i>Crushed Limestone</i> 2mm)	21
Gambar 2.14	Kurva Parameter Kompaksi <i>Maximum Dry Density</i> , γ_{drymax} Terhadap Siklus Kompaksi SUa (<i>Crushed Limestone</i> 2mm)	22
Gambar 2.15	Kurva Perbandingan, γ_{drymax} SUa <i>Mold Non-Standard</i> Terhadap SUa Siklus 2 dan Siklus 3 <i>Mold Standard</i>	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2	Kurva Kompaksi Gabungan SUa (<i>Crushed Limestone</i> Dia.2mm)	25
Gambar 3.3	Alat Uji Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>), G_s	31
Gambar 3.4	Alat Uji Kompaksi	32
Gambar 3.5	Alat Bantu Uji Kompaksi.....	32
Gambar 3.6	Mesin Uji Geser Langsung.....	38
Gambar 3.7	<i>Shear Box</i>	38
Gambar 3.8	Alat Bantu Uji <i>Direct Shear</i>	39
Gambar 3.9	Perbandingan Panjang Lengan Beban.....	41
Gambar 4.1	Kurva γ_{dry} Terhadap Siklus Kompaksi SU 2mm	50
Gambar 4.2	Hubungan <i>Strain vs Shear Stress</i> SUSi1NS1	52
Gambar 4.3	Hubungan <i>Strain vs Vertical Displacement</i> SUSi1NS1.....	52
Gambar 4.4	Hubungan <i>Strain vs Shear Stress</i> SUSi1NS2	53
Gambar 4.5	Hubungan <i>Strain vs Vertical Displacement</i> SUSi1NS2.....	53
Gambar 4.6	Hubungan <i>Strain vs Shear Stress</i> SUSi1NS3	55
Gambar 4.7	Hubungan <i>Strain vs Vertical Displacement</i> SUSi1NS3.....	55
Gambar 4.8	Kurva Tegangan-Regangan Siklus 1.....	56
Gambar 4.9	Kurva Tegangan Normal vs Tegangan Geser (Siklus 1)	57
Gambar 4.10	Hubungan <i>Strain vs Shear Stress</i> SUSi2NS1	59
Gambar 4.11	Hubungan <i>Strain vs Vertical Displacement</i> SUSi2NS1.....	59
Gambar 4.12	Hubungan <i>Strain vs Shear Stress</i> SUSi2NS2	60
Gambar 4.13	Hubungan <i>Strain vs Vertical Displacement</i> SUSi2NS2.....	60
Gambar 4.14	Hubungan <i>Strain vs Shear Stress</i> SUSi2NS3	62
Gambar 4.15	Hubungan <i>Strain vs Vertical Displacement</i> SUSi2NS3.....	62

Gambar 4.16	Kurva Tegangan-Regangan Siklus 2.....	63
Gambar 4.17	Kurva Tegangan Normal vs Tegangan Geser (Siklus 2)	64
Gambar 4.18	Hubungan <i>Strain vs Shear Stress</i> SUSi3NS1	66
Gambar 4.19	Hubungan <i>Strain vs Vertical Displacement</i> SUSi3NS1.....	66
Gambar 4.20	Hubungan <i>Strain vs Shear Stress</i> SUSi3NS2	67
Gambar 4.21	Hubungan <i>Strain vs Vertical Displacement</i> SUSi3NS2.....	67
Gambar 4.22	Hubungan <i>Strain vs Shear Stress</i> SUSi3NS3	69
Gambar 4.23	Hubungan <i>Strain vs Vertical Displacement</i> SUSi3NS3.....	69
Gambar 4.24	Kurva Tegangan-Regangan Siklus 3.....	70
Gambar 4.25	Kurva Tegangan Normal vs Tegangan Geser (Siklus 3)	71
Gambar 4.26	Kurva Tegangan-Regangan Gabungan	72
Gambar 4.27	Kurva Parameter Kompaksi <i>Maximum Dry Density</i> , $\gamma_{dry\ max}$ Terhadap Siklus Kompaksi SUa (2mm)	73
Gambar 4.28	Kurva Perbandingan Sudut Geser Dalam Sebelum Koreksi (ϕ^*) Terhadap Siklus Kompaksi	73
Gambar 4.29	Kurva Perbandingan Sudut Geser Dalam Sebelum Koreksi (ϕ^*) Terhadap Sudut Geser Dalam (ϕ).....	75
Gambar 4.30	Kurva Parameter Kompaksi <i>Maximum Dry Density</i> Terkoreksi, $\gamma_{dry\ max\ corr}$ Terhadap Siklus Kompaksi SUa (2mm)	76
Gambar 4.31	Kurva Perbandingan Sudut Geser Dalam (ϕ) Terhadap Siklus Kompaksi	76



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kecepatan pada Mesin <i>Direct Shear</i>	20
Tabel 2.2	Nilai <i>Dry Density</i> , γ_{dry} Pengujian SUa <i>Mold Standard</i>	23
Tabel 2.3	Hasil Faktor Koreksi Nilai <i>Maximum Dry Density</i> , $\gamma_{dry\ max}$ <i>Mold Non-Standard</i> Terhadap SUa <i>Dry Density</i> , $\gamma_{dry\ max}$ <i>Mold Standard</i>	23
Tabel 2.4	Perubahan nilai $\gamma_{dry\ max}$ Siklus 2 dan Siklus 3 Terhadap Nilai $\gamma_{dry\ max}$ Siklus 1 Untuk SUa	24
Tabel 3.1	<i>Quartering</i>	28
Tabel 3.2	Prosedur Pengujian Kadar Air	29
Tabel 3.3	Dimensi <i>Mold</i> Kompaksi	31
Tabel 3.4	Prosedur Uji Kompaksi	33
Tabel 3.5	Prosedur Pengambilan Kadar Air pada <i>Mold</i>	36
Tabel 3.6	Prosedur Persiapan Alat	39
Tabel 3.7	Variasi Tegangan Normal	41
Tabel 3.8	Prosedur Persiapan Sampel Uji	42
Tabel 3.9	Prosedur Pengujian <i>Direct Shear</i> CD	43
Tabel 3.10	Prosedur Pengambilan Kadar Air pada <i>Shear Box</i>	46
Tabel 4.1	Penamaan Sampel Uji	48
Tabel 4.2	Indeks Properti Material Uji, <i>Initial Water Content</i> , w (%)	49
Tabel 4.3	Indeks Properti Material Uji, <i>Specific Gravity</i> , G_s	49
Tabel 4.4	Klasifikasi Indeks Properti Material Uji	49
Tabel 4.5	Hasil Uji Kompaksi SU 2mm	50
Tabel 4.6	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SUSi1NS1	52
Tabel 4.7	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SUSi1NS2	53
Tabel 4.8	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SUSi1NS3	54
Tabel 4.9	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 1	56
Tabel 4.10	Data Plot Kurva Tegangan Normal vs Tegangan Geser (Siklus 1) ..	57
Tabel 4.11	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SUSi2NS1	58
Tabel 4.12	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SUSi2NS2	60
Tabel 4.13	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SUSi2NS3	61
Tabel 4.14	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 2	63
Tabel 4.15	Data Plot Kurva Tegangan Normal vs Tegangan Geser (Siklus 2) ..	64
Tabel 4.16	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SUSi3NS1	65
Tabel 4.17	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SUSi3NS2	67
Tabel 4.18	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SUSi3NS3	68
Tabel 4.19	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> Siklus 2	70
Tabel 4.20	Data Plot Kurva Tegangan Normal vs Tegangan Geser (Siklus 3) ..	71
Tabel 4.21	Hasil Uji <i>Direct Shear</i> SU <i>Limestone</i> 2mm	72
Tabel 4.22	Perubahan Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ^*) Siklus 2 dan Siklus 3 Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ^*) Siklus 1	74
Tabel 4.23	Hasil Faktor Koreksi Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ)	74
Tabel 4.24	Perubahan Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ) Siklus 2 dan Siklus 3 Terhadap Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ) Siklus 1	75

DAFTAR NOTASI

G_s	Berat jenis tanah
V	<i>Volume</i> cetakan (cm^3)
w	Kadar air (%)
w_{opt}	Kadar air optimum (%)
W	Berat tanah yang dipadatkan (kg)
γ_{dry}	Berat isi kering (ton/m^3)
$\gamma_{dry\ max}$	Berat isi kering maksimum (ton/m^3)
s	Kuat geser (disebut juga τ), kPa, ksf, dll.
ϵ	Regangan (%)
τ_f	Kuat geser pada saat runtuh, kPa, ksf, dll.
ϵ_f	Regangan pada saat runtuh (%)
σ_n	Tegangan normal pada bidang geser (σ total atau σ' efektif), kPa, ksf, dll.
σ'	($\sigma - u$), tegangan normal efektif (kg/cm^2)
σ_1	<i>Mayor principal stress</i>
σ_3	<i>Minor principal stress</i>
ϕ^*	Sudut geser dalam sebelum koreksi (deg)
ϕ	Sudut geser dalam (deg)
ϕ_{max}	Sudut geser dalam puncak (deg)
c	Kohesi (kg/cm^2)
t_f	Estimasi total waktu yang dibutuhkan hingga runtuh (min).
t_{50}	Waktu yang dibutuhkan sampel untuk mencapai konsolidasi 50% di bawah tegangan normal yang ditentukan (min).
t_{90}	Waktu yang dibutuhkan sampel untuk mencapai konsolidasi 90% di bawah tegangan normal yang ditentukan (min).
d_r	<i>Displacement rate</i> (in./min, mm/min)
d_f	Estimasi perpindahan horizontal pada saat runtuh (in., mm)
t_f	Estimasi total waktu yang diperlukan hingga runtuh (min)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L.1	Hasil Uji Indeks Properti	79
Lampiran L.2	Hasil Uji Kompaksi	80
Lampiran L.3	Kurva Konsolidasi	81
Lampiran L.4	Pengujian <i>Direct Shear</i>	90
Lampiran L.5	Contoh Perhitungan Penentuan Berat Sampel Uji SUSi1NS1.....	99
Lampiran L.6	Contoh Perhitungan <i>Displacement Rate</i> (d_r) Sampel Uji SUSi1NS1.....	100
Lampiran L.7	Contoh Perhitungan Pengujian <i>Direct Shear</i> Sampel Uji SUSi1NS1.....	102
Lampiran L.8	Contoh Perhitungan Sudut Geser Dalam Sampel Uji Siklus 1	103
Lampiran L.9	Contoh Perhitungan <i>Water Content Determination</i> Sampel Uji SUSi1NS1.....	104
Lampiran L.10	Formulir Sertifikat Kalibrasi Proving Ring.....	105

