

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN LIMBAH PRODUKSI BESI (*STEEL SLAG*)
SEBAGAI PENGANTI MATERIAL BERBUTIR PADA
LAPISAN *CAPPING LAYER* PERKERASAN JALAN**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Ihsanul Umi Aisyah
NIM : 30202200307**

**Nabila Puspitarini
NIM : 30202200315**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN LIMBAH PRODUKSI BESI (*STEEL SLAG*) SEBAGAI
PENGANTI MATERIAL BERBUTIR PADA LAPISAN *CAPPING LAYER*
PERKERASAN JALAN



Ihsanul Umi Aisyah
NIM : 30202200307



Nabila Puspitarini
NIM : 30202200315

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, November 2024

Tim Penguji

1. **Dr. Ir. H. Sumirin, MS.**
NIDN: 0004056302
2. **Ir. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.**
NIDN: 0631128901

Tanda Tangan

.....

.....

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 30/A2/SA-T/IV/2024

Pada hari ini tanggal 02-12-2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Ir. H. Sumirin, MS.
Jabatan Akademik : Dosen Fakultas Teknik Prodi Teknik Sipil Unissula
Jabatan : Dosen Pembimbing

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Ihsanul Umi Aisyah
NIM : 30202200307

Nabila Puspitarini
NIM : 30202200315

Judul : Pemanfaatan Limbah Produksi Besi (*Steel Slag*) Sebagai Pengganti Material Berbutir Pada Lapisan *Capping Layer* Perkerasan Jalan

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	26 April 2024	
2	Seminar Proposal	24 September 2024	ACC
3	Pengumpulan data	25 September 2024	
4	Analisis data	Oktober 2024	
5	Penyusunan laporan	Oktober 2024	
6	Selesai laporan	27 November	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. H. Sumirin, MS.

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Ihsanul Umi Aisyah

Nabila Puspitarini

NIM : 30202200307

30202200315

JUDUL TUGAS AKHIR : Pemanfaatan Limbah Produksi Besi (*Steel Slag*)
Sebagai Pengganti Material Berbutir Pada Lapisan *Capping Layer* Perkerasan Jalan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 30 November 2024

Yang membuat pernyataan,

Ihsanul Umi Aisyah

Nabila Puspitarini

NIM : 30202200307

NIM : 30202200315

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Ihsanul Umi Aisyah
Nabila Puspitarini

NIM : 30202200307
30202200315

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
Pemanfaatan Limbah Produksi Besi (*Steel Slag*) Sebagai Pengganti Material
Berbutir Pada Lapisan *Capping Layer* Perkerasan Jalan
Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya
bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana
mestinya.

Semarang, 30 November 2024
Yang membuat pernyataan,



Ihsanul Umi Aisyah
NIM : 30202200307

Nabila Puspitarini
NIM : 30202200315

MOTTO

Man jadda wajada, Artinya: "Barang siapa yang bersungguh-sungguh, maka dia akan berhasil"

Man shabara zhafira, Artinya: "Barang siapa yang bersabar, maka dia akan beruntung"

Man saara ala darbi washala Artinya: "Barang siapa yang berjalan di jalan-Nya, dia akan sampai di tujuan"



PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim, Alhamdulillah hadza min fadhli rabbi. Puji Syukur kehadirat Allah SWT. atas segala rahmatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya, Bapak Bambang dan Ibu Ika yang telah banyak berkorban, selalu memberi kasih sayang, *support* dan doa terbaik kepada saya sehingga dapat menuntut ilmu dan menggapai cita-cita dengan sangat baik serta penuh keberkahan.
2. Adik-adik saya, Lila dan Ervan yang sudah menjadi saudara, teman, penyemangat dan membikan doa sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dosen Pembimbing kami, Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS yang telah membimbing, meluangkan waktu dan segenap tenaga untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Pasangan saya, Khairuddin Iqbal S, yang selalu memberi *support*, doa dan mendengarkan seluruh cerita saya selama ini.
5. *Partner* Tugas Akhir saya, Nabila Puspitarini yang sudah kuat, berbagi semangat dan keluh kesah bersama selama menempuh Pendidikan sambil bekerja hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini bersama.
6. Teman-teman terbaik saya, Ega, Ainun, Sanjaya, Cinda, Edelweis, Yona, Adis, Ulya yang selalu memberi semangat dan dukungan dan dukungan kepada saya
7. Rekan-rekan kerja saya di Proyek Kawasan BI Karawang yang sangat mendukung saya untuk melanjutkan Pendidikan dari jenjang Diploma 3 menjadi Sarjana.
8. Rekan-rekan kerja saya di Proyek SS Tol Serang-Panimbang Seksi 2, yang selalu mendukung dan membantu saya selama menempuh Pendidikan sambil bekerja
9. Seluruh dosen, civitas akademik, dan karyawan UNISSULA yang sudah membantu dalam proses pembelajaran kami dari tahun 2023 – 2024 ini.

Ihsanul Umi Aisyah
NIM : 30202200307

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam, dan dengan telah diselesaikannya Tugas Akhir ini Penulis mempersembahkannya kepada:

1. Kedua orang tua Penulis yang telah selalu membantu Penulis dalam segala hal, baik kasih sayang maupun doa, serta bantuan biaya sebagai bentuk agar Penulis dapat mencapai impian yang telah direncanakan sebelumnya.
2. Dosen pembimbing kami Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS yang telah membimbing serta memberi arahan, sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai sesuai dengan harapan.
3. *Partner* dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, yaitu Ihsanul Umi Aisyah yang telah menjadi teman dari tahun 2019 sampai dengan sekarang, berbagi keluh kesah terkait dalam perjalanan pendidikan maupun dalam pekerjaan.
4. Teman-teman tercinta saya, Tiffani, Saka, Akbar, dan Nisa telah menemani saya dari masa remaja hingga saat ini serta atas kekuatan dan dukungan yang diberikan kepada saya.
5. Aulia Khairunisa, teman yang saya temui di Proyek Pembangunan Jalan Tol Bayung Lencir – Tempino Seksi 2, yang telah menjadi *roommate* serta teman *sharing* keluh kesah terkait pekerjaan dan pendidikan Strata 1.
6. Teman-teman Proyek Pembangunan Jalan Tol Bayung Lencir – Tempino Seksi 2 yang telah membantu saya dalam mencari *insight* terkait dengan pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Pembangunan Jalan di dalam KIPP: Peningkatan Jalan Kawasan *West Residence* yang memberikan *support* atas pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Seluruh dosen, civitas akademik, dan karyawan UNISSULA yang sudah membantu dalam proses pembelajaran kami dari tahun 2023 – 2024 ini.

Nabila Puspitarini
NIM: 30202200315

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. wb.

Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala RahmatNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan Judul “PEMANFAATAN LIMBAH PRODUKSI BESI (*STEEL SLAG*) SEBAGAI PENGGANTI MATERIAL BERBUTIR PADA LAPISAN *CAPPING LAYER* PERKERASAN JALAN” sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran dalam proses kegiatan belajar mengajar
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS., selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan dorongan dalam penulisan skripsi ini.
4. Ibu Ir. Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, bulan, tahun

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	1
1.5 Batasan Masalah.....	1
1.6 Sistematika Penulisan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Capping Layer.....	3
2.2 Agregat / Material Berbutir.....	4
2.2.1 Klasifikasi Agregat.....	5
2.2.2 Agregat Kasar.....	7
2.3 Steel Slag.....	9
2.4 Pengendalian Mutu.....	10
2.4.1 Pengujian kadar air.....	11
2.4.2 Pengujian berat jenis tanah.....	12
2.4.3 Pengujian kepadatan tanah	14
2.4.4 Pengujian CBR laboratorium	18
2.4.5 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.....	23
2.4.6 Pengujian analisa saringan agregat.....	25
2.4.7 Pengujian bahan yang lebih halus dari saringan 75 μ m (No. 200) dalam agregat dengan pencucian	27
2.4.8 Pengujian keausan agregat dengan mesin <i>los angeles</i>	28
2.4.9 Pengujian CBR lapangan.....	30
2.4.10 Pengujian <i>sand cone</i>	33
2.5 Manajemen Biaya.....	37
2.5.1 Perkiraan Biaya	37

2.5.2	Menentukan Biaya.....	37
2.5.3	Pengendalian Biaya	37
2.6	Konsep Efisiensi	38
2.7	Penelitian Sebelumnya.....	38
BAB III METODE PENELITIAN		42
3.1	Tinjauan Umum	42
3.2	Lokasi dan Subjek Penelitian	42
3.3	Tahapan Penelitian	43
3.4	Pengumpulan Data	44
3.5	Variabel Penelitian	45
3.5.1	Variabel Kontrol.....	45
3.5.2	Variabel Bebas	45
3.5.3	Variabel Terikat.....	45
3.6	Bagan Alir	46
BAB IV PEMBAHASAN.....		47
4.1	Pelaksanaan Pekerjaan <i>Capping Layer</i>	47
4.1.1	Urutan Pekerjaan <i>Capping Layer</i>	47
4.1.2	Metode Pelaksanaan Pekerjaan <i>Capping Layer</i>	47
4.2	Hasil Pengujian Laboratorium Material Berbutir Kelas B.....	49
4.2.1	Pengujian Kadar Air Tanah	49
4.2.2	Pengujian Berat Jenis Tanah	50
4.2.3	Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	51
4.2.4	Pengujian Analisa Saringan Agregat.....	52
4.2.5	Pengujian Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 μ m (No. 200) dalam Agregat dengan Pencucian.....	54
4.2.6	Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi <i>Los Angeles</i>	55
4.2.7	Pengujian Kepadatan Berat Tanah	55
4.2.8	Pengujian CBR Laboratorium	56
4.3	Hasil Pengujian Laboratorium Material <i>Steel Slag</i>	60
4.3.1	Pengujian Kadar Air Tanah	60
4.3.2	Pengujian Berat Jenis Tanah	61
4.3.3	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	62
4.3.4	Pengujian Analisa Saringan Agregat.....	63
4.3.5	Pengujian Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 μ m (No. 200) dalam Agregat dengan Pencucian.....	65

4.3.6	Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi <i>Los Angeles</i>	66
4.3.7	Pengujian Kepadatan Ringan Tanah	67
4.3.8	Pengujian CBR Laboratorium	68
4.4	Hasil Pengujian Lapangan Material <i>Steel Slag</i>	71
4.4.1	Pengujian CBR Lapangan	72
4.4.2	Pengujian <i>Sand Cone</i>	77
4.5	Hasil Pengujian Lapangan Material Berbutir kelas B.....	78
4.5.1	Pengujian CBR Lapangan	79
4.5.2	Pengujian <i>Sand Cone</i>	83
4.6	Analisa Biaya	84
4.6.1	Analisa Biaya Pekerjaan <i>Capping Layer</i> dengan Material Berbutir Kelas B	84
4.6.2	Analisa Biaya Pekerjaan <i>Capping Layer</i> dengan <i>Steel Slag</i>	88
4.7	Pembahasan.....	91
BAB V.....		96
KESIMPULAN		96
5.1	Kesimpulan	96
DAFTAR PUSTAKA		97
LAMPIRAN.....		98



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tinggi Minimum Tanah Dasar di Atas Muka Air Tanah Dan Muka Air Banjir.....	4
Tabel 2. 2 Gradasi berat Agregat untuk Lapis Pondasi, Lapis Pondasi Bawah dan Bahu Jalan	7
Tabel 2. 3 Gradasi Agregat untuk Lapis Pondasi, Lapis Pondasi Bawah dan Bahu Jalan.....	8
Tabel 2. 4 Sifat-Sifat Lapis Pondasi Agregat	9
Tabel 2.5 Hubungan Antara Kerapatan Relatif Air dan Faktor Konversi K dalam Temperatur	13
Tabel 2. 6 Contoh Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis	14
Tabel 2. 7 Contoh Tabel dan Grafik Hasil Pengujian Kepadatan Berat.....	18
Tabel 2. 8 Format Penyampaian Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	24
Tabel 2. 9 Tabel Berat Minimum Sampel Benda Uji Agregat Kasar.....	25
Tabel 2. 10 Format Penyampaian Hasil Pengujian Analisa Saringan	26
Tabel 2. 11 Format Penyampaian Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles	30
Tabel 2. 12 Contoh Form Hasil Pengujian CBR Lapangan	32
Tabel 2.13 Contoh Formulir Laporan Hasil Pengujian Sand Cone.....	36
Tabel 2. 14 Daftar Penelitian Terdahulu	38
Tabel 4.1 Detail Berat Benda Uji Kadar Air Tanah Material Berbutir	49
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Benda Uji Kadar Air Tanah Material Berbutir	50
Tabel 4.3 Detail Berat Benda Uji Berat Jenis Tanah Material Berbutir.....	50
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Benda Uji Berat Jenis Tanah Material Berbutir.....	51
Tabel 4.5 Detail Berat Benda Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar	51
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Benda Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar	52
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Benda Uji 1 Analisa Saringan Agregat.....	52
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Benda Uji 2 Analisa Saringan Agregat.....	53
Tabel 4.9 Hasil Kumulatif Benda Uji Analisa Saringan Agregat	53
Tabel 4.10 Detail Benda Uji Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 μ m (No. 200) dalam Agregat dengan Pencucian.....	54
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 μ m (No. 200) dalam Agregat dengan Pencucian.....	54
Tabel 4.12 Detail Benda Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles	55
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles	55
Tabel 4.14 Detail dan Hasil Pengujian Kepadatan Berat Tanah	56
Tabel 4. 15 Pembacaan Dial pada 10 Tumbukan	57
Tabel 4.16 Kadar Air pada 10 Tumbukan	57
Tabel 4.17 Kepadatan pada 10 Tumbukan	57
Tabel 4.18 Pembacaan Dial pada 30 Tumbukan	58
Tabel 4.19 Kadar Air pada 30 Tumbukan	58

Tabel 4.20 Kepadatan pada 30 Tumbukan	58
Tabel 4.21 Pembacaan Dial pada 65 Tumbukan	59
Tabel 4.22 Kadar Air pada 65 Tumbukan	59
Tabel 4.23 Kepadatan pada 65 Tumbukan	59
Tabel 4.24 Detail Berat Benda Uji Kadar Air Tanah Material Steel Slag	60
Tabel 4.25 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah Material Steel Slag	61
Tabel 4.26 Detail Benda Uji Berat Jenis Tanah	61
Tabel 4.27 Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah	62
Tabel 4.28 Detail Benda Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	62
Tabel 4.29 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	63
Tabel 4.30 Hasil Pengujian Benda Uji 1 Analisa Saringan Agregat	63
Tabel 4.31 Hasil Pengujian Benda Uji 2 Analisa Saringan Agregat	64
Tabel 4.32 Hasil Kumulatif Benda Uji Analisa Saringan Agregat	65
Tabel 4.33 Detail Benda Uji Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 μ m (No. 200) dalam Agregat dengan Pencucian	65
Tabel 4.34 Hasil Pengujian Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 μ m (No. 200) dalam Agregat dengan Pencucian	66
Tabel 4.35 Detail Benda Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles	66
Tabel 4.36 Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles	67
Tabel 4.37 Detail dan Hasil Pengujian Kepadatan Ringan Tanah	67
Tabel 4.38 Pembacaan Dial pada 10 Tumbukan	68
Tabel 4.39 Kadar Air pada 10 Tumbukan	69
Tabel 4.40 Kepadatan pada 10 Tumbukan	69
Tabel 4.41 Pembacaan Dial pada 30 Tumbukan	69
Tabel 4.42 Kadar Air pada 30 Tumbukan	70
Tabel 4.43 Kepadatan pada 30 Tumbukan	70
Tabel 4.44 Pembacaan Dial pada 65 Tumbukan	70
Tabel 4.45 Kadar Air pada 65 Tumbukan	71
Tabel 4.46 Kepadatan pada 65 Tumbukan	71
Tabel 4.47 Elevasi Penurunan Trial Compaction dan nilai faktor loose	72
Tabel 4.48 Proving Ring untuk Pengujian CBR Lapangan Setiap Passing	72
Tabel 4.49 Pembacaan Dial Passing 6 Material Steel Slag	73
Tabel 4.50 Nilai CBR Terkoreksi Steel Slag dengan 6 Passing	73
Tabel 4.51 Pembacaan Dial Passing 8 Material Steel Slag	74
Tabel 4.52 Nilai CBR Terkoreksi Steel Slag dengan 8 Passing	74
Tabel 4.53 Pembacaan Dial Passing 10 Material Steel Slag	75
Tabel 4.54 Nilai CBR Terkoreksi Steel Slag dengan 10 Passing	76
Tabel 4.55 Hasil Pengujian Sand Cone Steel Slag	77
Tabel 4.56 Elevasi Penurunan Trial Compaction dan nilai faktor loose	78
Tabel 4.57 Pembacaan Dial Passing 6 Material Berbutir Kelas B	79
Tabel 4.58 Nilai CBR Terkoreksi Material Berbutir Kelas B dengan 6 Passing	80
Tabel 4.59 Pembacaan Dial Passing 8 Material Berbutir Kelas B	80
Tabel 4.60 Nilai CBR Terkoreksi Material Berbutir Kelas B dengan 8 Passing	81
Tabel 4.61 Pembacaan Dial Passing 10 Material Berbutir Kelas B	82
Tabel 4.62 Nilai CBR Terkoreksi Material Berbutir Kelas B dengan 10 Passing	82

Tabel 4. 63 Hasil Pengujian Sand Cone Material Berbutir Kelas B	83
Tabel 4. 64 Analisa Biaya Pekerjaan Capping Layer dengan Material Berbutir Kelas B	87
Tabel 4. 65 Analisa Biaya Pekerjaan Capping Layer dengan Material Steel Slag	91
Tabel 4. 66 Perbandingan Spesifikasi Mutu Material Berbutir Kelas B dan Steel Slag.....	93
Tabel 4. 67 Perbandingan Harga Satuan Capping Layer dengan Material Steel Slag dan Material Berbutir Kelas B	95



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Gambar Agregat Kasar dan Agregat Halus	6
Gambar 2. 2	Gambar Material Steel Slag	9
Gambar 2. 3	Tabung Cetakan	15
Gambar 2. 4	Peralatan Uji CBR Laboratorium	19
Gambar 2. 5	Kurva Hubungan Antara Beban dan Penetrasi	21
Gambar 2. 6	Penentuan CBR Untuk Sampel Kadar Air Optimum	22
Gambar 2. 7	Penentuan CBR Untuk Sampel Kadar Air Tertentu	22
Gambar 3. 1	Lokasi Penelitian	42
Gambar 3. 2	Flowchart Penelitian	46
Gambar 4. 1	Gambar Material Agregat Kelas B Quarry Bojonegara	49
Gambar 4. 2	Material Steel Slag dari PT Krakatau Steel	60
Gambar 4. 3	Grafik CBR Lapangan Steel Slag dengan 6 Passing	73
Gambar 4. 4	Grafik CBR Lapangan Steel Slag dengan 8 Passing	75
Gambar 4. 5	Grafik CBR Lapangan Steel Slag dengan 10 Passing	76
Gambar 4. 6	Grafik CBR Lapangan Material Berbutir Kelas B dengan 6 Passing	80
Gambar 4. 7	Grafik CBR Lapangan Material Berbutir Kelas B dengan 8 Passing	81
Gambar 4. 8	Grafik CBR Lapangan Material Berbutir Kelas B dengan 10 Passing	82
Gambar 4. 9	Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Steel Slag dan Material Berbutir Kelas B	92



ABSTRAK

Proyek Simpang Susun Jalan Tol Serang Panimbang Seksi 2 memerlukan lapisan *capping layer* dari material berbutir kelas B untuk perkerasan jalan yang dibuat karena nilai CBR tanah dasar <6%. Namun karena biayanya tinggi, dilakukan inovasi penggantian material berbutir kelas B menjadi material *steel slag* yang merupakan limbah dari produksi besi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai CBR, kepadatan, nilai faktor *loose* dan harga satuan material *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer*.

Data yang dikumpulkan untuk penelitian ini didapat dari peraturan yang berlaku, observasi serta pengambilan data langsung dari proyek. Data tersebut diambil untuk menentukan efisien penggunaan *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer* dari segi mutu dan biaya. Analisa mutu dilakukan dengan melakukan pengujian di laboratorium serta pengujian lapangan. Untuk analisa biaya dilakukan dengan membandingkan perhitungan harga satuan pekerjaan *capping layer* dari kedua material tersebut.

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa material *steel slag* terbukti mampu menjadi pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer* yang memiliki ketahanan terhadap abrasi lebih baik, mudah dikompaksi dan memiliki harga yang lebih murah daripada material berbutir kelas B

Kata Kunci : *Capping Layer, Material Berbutir Kelas B, Steel Slag, Mutu, Biaya*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan konstruksi infrastruktur semakin mengalami perkembangan inovasi. Salah satunya pada Proyek Simpang Susun Jalan Tol Serang Panimbang Seksi 2 yang melakukan inovasi terhadap penggantian material berbutir kelas B pada *capping layer* menjadi material *steel slag*. *Steel slag* merupakan limbah hasil peleburan baja. Baja dibuat dengan memanaskan bijih besi dan campuran lainnya dalam tungku bersuhu tinggi, sehingga menghasilkan cairan yang disebut besi kasar. Selama proses ini, mineral non-logam yang ada dalam bijih besi seperti kalsium, silikon, fosfor, dan aluminium, meleleh dan bergabung dengan oksida besi dalam besi kasar yang secara fisik dan visual menyerupai dengan batu pecah agregat dan belum dimanfaatkan secara maksimal.

Awalnya *design capping layer* dengan menggunakan material berbutir Kelas B (*base-B*) pada Proyek Simpang Susun Jalan Tol Serang Panimbang Seksi 2 digunakan karena nilai CBR tanah dasar atau tanah eksisting di beberapa lokasi pekerjaan <6%, sehingga *capping layer* dibutuhkan untuk mengurangi efek lemah tanah dasar terhadap struktur atas. Namun pada saat masa konstruksi penggunaan *capping layer* dirasa membutuhkan biaya yang tinggi dengan tebal *design capping layer* sebesar 30 cm dan nilai *waste* atau *loose* material sangat tinggi, sehingga dilakukan evaluasi dengan menggunakan alternatif material yang tersedia di sekitar lokasi Proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang Seksi 2.

Salah satu alternatif material yang tersedia di sekitar lokasi proyek yaitu material *Steel Slag* yang didapatkan dari limbah produksi besi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk. di Cilegon, Banten. *Steel slag* dapat digunakan sebagai material *capping layer* pada konstruksi jalan. Material ini memiliki sifat-sifat yang cocok untuk digunakan sebagai *capping layer*, seperti kekuatan tinggi, ketahanan terhadap abrasi dan degradasi, serta sifat yang mudah dikompaksi.

Sebelum *steel slag* digunakan perlu dilakukan peninjauan *quarry*, pengujian material, dan pengajuan material. Hasil dari pengujian material *steel slag* ini

nantinya akan menjadi pertimbangan pembanding dengan material berbutir kelas B pada *capping layer*. Penilaian mutu dan efisiensi biaya akan menjadi faktor dari pemilihan inovasi *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari topik tersebut, dapat dirumuskan menjadi beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Berapa nilai pengujian CBR Laboratorium material *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer*?
- b. Berapa nilai pengujian kepadatan tanah atau *sand cone* material *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer*?
- c. Berapa nilai faktor *loose* material *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer*?
- d. Berapa harga satuan material *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer*?

1.3 Maksud dan Tujuan

Dari rumusan masalah yang telah didapat, maka diperoleh maksud dan tujuan penelitian ini sebagai berikut:

- a. Mengetahui nilai CBR Laboratorium material *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer*.
- b. Mengetahui nilai pengujian kepadatan tanah atau *sand cone* material *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer*.
- c. Mengetahui nilai faktor *loose* material *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer*.
- d. Mengetahui perbandingan harga satuan antara material *steel slag* dan agregat berbutir kelas B pada pekerjaan *capping layer* pada perkerasan jalan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini yaitu:

- a. Menambah wawasan dan pengetahuan penulis terhadap pemanfaatan limbah padat industri besi berupa material *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B untuk lapisan *capping layer* pada pekerjaan konstruksi Jalan;
- b. Sebagai pertimbangan bagi perusahaan pelaksana atau penyedia jasa konstruksi dalam melakukan efisiensi biaya dengan memanfaatkan material *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer* dengan tetap memperhatikan kualitas dan mutu pekerjaan;
- c. Menjadi bahan referensi kepustakaan dan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian pada Tugas Akhir ini ialah :

- a. Berfokus pada alasan pemilihan material *steel slag* hasil produksi limbah baja dari PT Krakatau Posco, Cilegon, Banten, sebagai pengganti material berbutir kelas B dari *Quarry* yang terletak di Kecamatan Bojonegara, Kabupaten Serang, Banten;
- b. Berfokus pada jarak tempuh rata-rata material *steel slag* dari PT Krakatau Posco di Cilegon, Banten (72 Km dari lokasi proyek) dan *Quarry* material Kelas B dari Kecamatan Bojonegara, Kabupaten Serang, Banten (70 Km dari lokasi proyek);
- c. Penggunaan *capping layer* di Proyek Simpang Susun Jalan Tol Serang Panimbang Seksi 2 oleh PT PP (Persero) Tbk. di tahun 2022 sampai dengan 2023 dari segi mutu dan biaya;
- d. Terbatas pada mengidentifikasi dan membandingkan hasil pengujian *steel slag* dengan hasil pengujian material berbutir kelas B sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan untuk lapisan *capping layer* pada pekerjaan perkerasan jalan; dan
- e. Identifikasi perhitungan kebutuhan biaya dengan membandingkan kebutuhan volume dan harga satuan pekerjaan *capping layer* dengan menggunakan *steel slag* dan menggunakan material berbutir kelas B.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan penulisan Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari 5 bab, di mana masing-masing bab dapat diuraikan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan uraian mengenai teori dari berbagai sumber yang menjadi dasar dalam penulisan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang strategi yang digunakan dalam pengumpulan data di lapangan, metode penyajian dan analisis data yang akan digunakan untuk mengolah data yang nantinya didapatkan.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pembahasan dan hasil dari penilitan tugas akhir yang merupakan inti dari penelitian yang membahas tentang pemanfaatan limbah produksi besi *steel slag* sebagai pengganti material berbutir kelas B pada *capping layer*.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari pembahasan pada bab sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Capping Layer

Capping Layer adalah lapisan material berbutir atau timbunan pilihan yang digunakan pada dasar dari lapis fondasi bawah dan difungsikan untuk mengurangi efek dari tanah dasar yang lemah terhadap lapisan struktur di atasnya. (Sitti K. Asmatun, 2016).

Pemasangan *capping layer* dilakukan untuk memperoleh CBR tanah dasar dibawah yang mendekati 6%. Sesuai dengan kondisi tanah dasar, Ditjen Bina Marga melalui surat nomor BM.0603-Db/849 tanggal 03 Agustus 2021 merekomendasikan penanganan teknis sebagai berikut:

- a. Jika $CBR < 6\%$ digunakan *Capping layer* dengan tebal $t = 30$ Cm.
- b. Jika $CBR > 6\%$ digunakan *Separator layer* dengan tebal $t = 15$ Cm.

Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan tahun 2017, *capping layer* harus memenuhi persyaratan umum sebagai berikut:

- a. Material yang dipilih sebagai *Capping Layer* harus berupa bahan pilihan atau material berbutir jika lapisan tersebut terletak di bawah permukaan air. Di mana material tersebut memiliki kepekaan terhadap kadar air rendah.
- b. Dapat berfungsi sebagai lantai kerja yang kokoh sepanjang periode pelaksanaan.
- c. Tebal minimum 600 mm untuk tanah ekspansif.
- d. Elevasi permukaan *Capping Layer* harus memenuhi persyaratan **Tabel 2.1. Tinggi Minimum Tanah Dasar Di Atas Muka Air Tanah Dan Muka Air Banjir**
- e. Kedalaman alur roda pada lapis penopang yang diakibatkan oleh lalu lintas selama masa konstruksi tidak lebih dari 40 mm.
- f. Mencapai ketebalan yang sudah ditentukan sehingga permukaan *Capping Layer* dapat dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat berat.

Tabel 2. 1 Tinggi Minimum Tanah Dasar di Atas Muka Air Tanah Dan Muka Air Banjir

Kelas Jalan (berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan)	Tinggi tanah dasar di atas muka air tanah (mm)	Tinggi tanah dasar di atas muka air banjir (mm)
Jalan Bebas Hambatan	1200 (jika ada drainase bawah permukaan di median)	500 (banjir 10 tahunan)
	1700 (tanpa drainase bawah permukaan di median)	
Jalan Raya	1200 (tanah lunak jenuh atau gambut tanpa lapis drainase) 800 (tanah lunak jenuh atau gambut dengan lapis drainase) 600 (tanah dasar normal)	
Jalan Sedang	600	500 (banjir 10 tahunan)
Jalan Kecil	400	NA

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan (2017)

Material *Capping layer* dapat menggunakan material dengan nilai CBR >15%, biasanya menggunakan material yang digunakan untuk Lapis Pondasi Bawah (material agregat kelas B), sehingga untuk spesifikasi material yang digunakan sesuai dengan spesifikasi persyaratan Lapis Pondasi Bawah (Agregat kelas B).

Pada saat pekerjaan *Capping Layer* harus dipadatkan hingga nilai kepadatan yang telah ditentukan dengan metode dan jumlah *passing* alat berat yang telah disepakati berdasarkan dari hasil *trial* pemadatan. Pemadatan yang optimal sangat penting untuk meminimalisir retakan akibat adanya perbedaan penurunan lapis perkerasan setelah pelaksanaan terutama pada perkerasan kaku.

2.2 Agregat / Material Berbutir

Agregat adalah material yang umumnya digunakan sebagai bahan pengisi dengan bahan pengikat pada produksi mortar, beton dan campuran beraspal. Agregat dapat berasal dari batuan alam (batuan beku, sedimen dan metamorf) atau dapat juga berupa dibuat dari terak tanur tinggi, dan lain-lain.

Agregat menempati 70-80 persen dari volume dan memiliki pengaruh yang cukup besar pada sifat-sifat mortar, beton atau campuran beraspal. Karena itu sangat penting untuk mendapatkan jenis dan kualitas agregat yang tepat. Agregat harus bersih, keras, kuat, tahan lama dan tingkatan ukuran untuk mencapai penghematan maksimal dalam campuran.

2.2.1 Klasifikasi Agregat

A. Berdasarkan Asal Geologis

1. Agregat Alam

Agregat yang bahan bakunya dari batu alam atau hasil penghancuran batu alam. Agregat alam terdiri dari:

- a. Kerikil dan pasir alam adalah agregat yang terbentuk secara alami dari penghancuran batuan induk. Agregat ini umumnya ditemukan di sungai atau daratan, dan dapat berasal dari pelapukan batuan besar, seperti batuan metamorf, sedimen, atau batuan beku. Agregat alam biasanya memiliki bentuk bulat dan sering kali tercampur dengan kotoran seperti lumpur dan tanah, sehingga perlu dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan
- b. Agregat batu pecah adalah agregat yang dihasilkan dari proses pemecahan batu alam menjadi potongan dengan ukuran tertentu..

2. Agregat Buatan

Agregat yang dibuat dengan tujuan khusus (tertentu) untuk memenuhi kebutuhan karena terbatasnya agregat alam. Agregat buatan biasanya berupa agregat ringan. Contoh dari agregat buatan adalah pecahan batu bata, cocok untuk pekerjaan dasar pondasi, namun tidak untuk pekerjaan beton bertulang, dan limbah peleburan besi (blast furnace slag yang diperoleh dari proses pendinginan lambat terak dan diikuti dengan penghancuran).

B. Berdasarkan Ukuran

1. *Coarse Aggregate* (Agregat Kasar)

Agregat tertahan saringan No. 4 (4,75 mm) diidentifikasi sebagai agregat kasar. Dapat diperoleh dari alam maupun dari penghancuran batu secara buatan. Ukuran maksimum agregat dapat mencapai 80 mm.

2. *Fine Aggregate* (Agregat Halus)

Agregat yang melewati saringan No. 4 (4,75 mm) dengan besar butir maksimum 4,75 mm didefinisikan sebagai agregat halus. Dapat berupa pasir alami, pasir dari pecahan batu maupun pasir kerikil yang dihaluskan.



Gambar 2. 1 Gambar Agregat Kasar dan Agregat Halus
Sumber: dokumentasi Proyek Simpang Susun Tol Serang-Panimbang Seksi 2, PT PP (2022)

C. Berdasarkan Bentuk

1. Agregat Bulat

Umumnya diperoleh dari sungai atau laut, menghasilkan rongga minimum (sekitar 32 persen) pada beton. Membutuhkan pasta semen yang minimum dalam pembuatan beton. Sambungan ikatan yang tidak baik membuat agregat ini tidak cocok digunakan dalam pembuatan beton maupun perkerasan aspal.

2. Agregat Tidak Teratur

Menghasilkan rongga sekitar 36 persen dan membutuhkan lebih banyak pasta semen dibandingkan agregat bulat. Karena ketidakteraturan bentuk, agregat ini mengembangkan ikatan yang cukup baik dalam pembuatan beton biasa.

3. Agregat Bersudut

Agregat ini memiliki partikel yang tajam, bersudut dan kasar yang menghasilkan rongga maksimum (sekitar 40%). Agregat bersudut memberikan ikatan yang baik daripada dua jenis agregat sebelumnya. Cocok digunakan untuk pembuatan beton dan perkerasan aspal yang berkekuatan tinggi.

4. Agregat Pipih dan Lonjong

Kadang-kadang disebut dengan agregat memanjang. Ketebalan agregat pipih harus kurang dari 0,6 kali dimensi rata-rata. Misal ukuran saringan untuk setiap agregat yang melewati saringan 50 mm dan tertahan saringan 40 mm adalah $(50+40)/2 = 45$ mm. Jika ketebalan

terkecil adalah kurang dari $0,6 \times 45 = 27$ mm, agregat dapat diklasifikasikan sebagai agregat pipih.

D. Berdasarkan Berat

Agregat diklasifikasikan sebagai normal, berat dan ringan tergantung pada berat agregat itu sendiri dan berat jenisnya

Tabel 2. 2 Gradasi berat Agregat untuk Lapis Pondasi, Lapis Pondasi Bawah dan Bahu Jalan

Agregat	Berat Jenis	Berat Unit (kN/m ³)	Kepadatan (kg/m ³)	Contoh
Normal	2,5 – 2,7	23 – 26	1520 – 1680	Pasir, kerikil, batu pasir granit, batu kapur
Berat	2,8 - 2,9	25 – 29	>2080	Magnetit (Fe ₃ SO ₄), barite (Ba ₃ SO ₄)
Ringan	-	12	<1120	Dolomit, batu apung, abu, tanah liat

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan (2017)

2.2.2 Agregat Kasar

Sesuai dengan SNI 6388:2015 tentang Spesifikasi Agregat untuk Lapis Fondasi, Lapis Fondasi Bawah, dan Bahu Jalan, agregat kasar merupakan agregat yang tertahan pada saringan No. 4 atau 4,75 mm.

A. Agregat Kasar Kelas A

Agregat Kasar Kelas A dapat disebut juga Lapis Pondasi Atas (LPA), merupakan perkerasan yang ada di antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah (LPB). Agregat Kasar Kelas A berfungsi untuk menyebarkan tegangan dari lapis permukaan ke lapisan di bawahnya.

B. Agregat Kasar Kelas B

Agregat Kasar Kelas B disebut sebagai Lapis Pondasi Bawah (LPB), merupakan perkerasan yang ada di antara tanah dasar dan lapis pondasi atas (LPA). Agregat Kasar Kelas B berfungsi untuk menyebarkan tegangan dari lapis pondasi atas ke tanah dasar.

Penggunaan Agregat Kasar Kelas A dan Agregat Kasar Kelas B diharuskan memenuhi gradasi yang sudah ditentukan, yaitu menggunakan ayakan sesuai SNI ASTM C136-2012 dengan batas-batas yang diberikan sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Gradasi Agregat untuk Lapis Pondasi, Lapis Pondasi Bawah dan Bahu Jalan

Ukuran ayakan		Persen berat yang lolos (%)		
		Kelas A	Kelas B	Kelas S
2"	50 mm	100	100	100
1 ½"	37,5 mm	100	88--95	100
1"	25,0 mm	79--85	70--85	77-- 89
¾"	9,50 mm	44--58	30--65	41--66
No. 4	4,75 mm	29--44	25--55	26--54
No. 10	2,0 mm	17--30	15--40	15--42
No. 40	0,425 mm	7--17	8--20	7--26
No. 200	0,075 mm	2--8	2--8	4--16

Sumber: SNI ASTM C136:2012 (2012)

Berdasarkan Spesifikasi Teknik Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol Divisi 8 terdapat beberapa sifat-sifat berdasarkan spesifikasi yang harus dipenuhi oleh Agregat Kasar Kelas A maupun Agregat Kasar Kelas B seperti pada **Tabel 2.4**



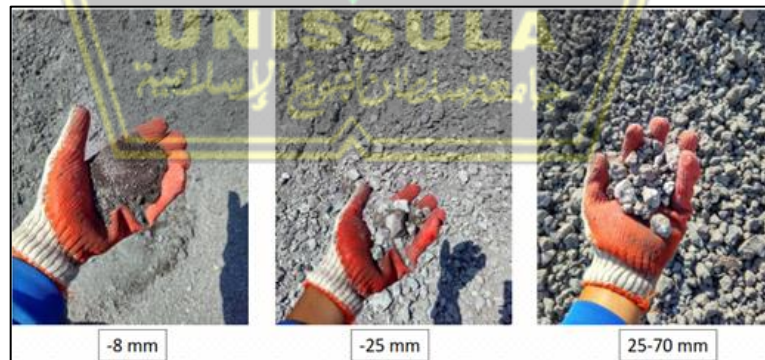
Tabel 2. 4 Sifat-Sifat Lapis Pondasi Agregat

Sifat	Kelas A	Kelas B
1. Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008 atau AASHTO T96-02(2006))	0 - 40%	0 - 40%
2. Butiran/Partikel pecah, tertahan ayakan 3/8” (SNI 7619-2012 atau AASHTO TP61-02(2005))	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾
3. Batas Cair (SNI 1967:2008 atau AASHTO T89-02)	0 - 25	0 - 35
4. Index Plastisitas (SNI 1966:2008 atau AASHTO T90-00)	0 - 6	0 - 10
5. Hasil kali Index Plastisitas dng. % Lolos Ayakan No.200	maks.25	-
6. Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 03-4141-1996 atau AASHTO T112-00(2004))	0 - 5%	0 - 5%
7. CBR pada 100% kepadatan kering maksimum setelah 4 hari perendaman (SNI 1744-2012 atau AASHTO T 180, Metoda D)	min.90	min.60
8. Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40	maks.2/3	maks.2/3

Sumber: Spesifikasi Teknik Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol Divisi 8 (2017)

2.3 Steel Slag

Steel slag merupakan limbah hasil dari peleburan baja maupun besi, hasil peleburan ini berupa bijih yang memiliki berbagai ukuran.



Gambar 2. 2 Gambar Material Steel Slag

Sumber: PT. Krakatau Posco,2022

Slag memiliki berbagai jenis dari proses peleburan yaitu:

A. *BF Slag (Blast Furnace Iron Slag)*

BF Slag atau *slag* hasil peleburan besi dalam tanur tiup. Material ini merupakan hasil pemisahan dan pendinginan dari proses peleburan besi dalam *blast furnace*. Komposisinya terutama terdiri dari kalsium silikat dan aluminium silikat.

B. *BOF Slag (Basic Oxygen Furnace Slag)*

BOF Slag, merupakan hasil pemisahan dan pendinginan setelah proses peleburan baja dalam tungku tanur oksigen.

C. *EAF Slag (Electric Arc Steel Slag)*

EAF Slag, atau *slag* dari proses peleburan baja dalam tungku listrik. Material ini adalah hasil pemisahan dan pendinginan setelah proses peleburan baja.

D. *IF Slag (Induction Furnace Slag)*

IF Slag, atau *slag* dari proses peleburan baja dalam tungku listrik, merupakan material pemisahan dan pendinginan setelah proses peleburan baja.

Walaupun *steel slag* merupakan limbah B3 yang perlu melewati proses pengolahan yang khusus. Namun, *steel slag* dapat dimanfaatkan sebagai material pengganti lapis pondasi dan/atau lapis pondasi bawah, material campuran beton, maupun lainnya.

2.4 Pengendalian Mutu

Menurut Crosby, mutu adalah kesesuaian dengan syarat atau standar yang ditetapkan (*Conformance to requirement*), yang mencakup kesesuaian pada *input*, proses, maupun *output*. Mutu menjadi agenda utama, dan peningkatannya merupakan tugas penting bagi setiap institusi, termasuk dalam bidang pekerjaan konstruksi. Maka dari itu pengendalian mutu merupakan proses yang penting dalam manajemen konstruksi. Cacat maupun kegagalan mutu saat konstruksi dapat menimbulkan biaya yang besar untuk dilakukan perbaikan. Pengendalian mutu dilakukan untuk mencapai *customer satisfaction* dan untuk menghindari *customer complain*.

Dalam prosesnya perlu dilakukan inspeksi, pengujian, dan pengukuran terhadap material terlebih dahulu sebelum dilakukan pengiriman ke lokasi

pekerjaan/proyek, pun pengendalian mutu juga mencakup *checklist* pekerjaan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui dan membuktikan kualitas/mutu material sesuai dengan spesifikasi yang digunakan. Selain itu, proses ini harus dilakukan dari saat sebelum mulai pekerjaan sampai dengan pekerjaan selesai untuk memastikan bahwa hasil dari produk konstruksi sudah memenuhi mutu.

Dalam pekerjaan *capping layer*, untuk mendapatkan mutu yang sesuai, perlu dilakukan beberapa pengujian, dari mulai sebelum pendaratan material, saat pekerjaan dan setelah dilakukan pekerjaan. Adapun pengujian-pengujian yang perlu dilakukan sebagai pengendalian mutu dalam pekerjaan *capping layer* antara lain:

2.4.1 Pengujian kadar air

Sesuai dengan SNI 1965:2008 tentang Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium, Kadar air merupakan persentase perbandingan berat air yang mengisi rongga pori material terhadap berat partikel padatnya.

A. Alat dan Bahan

- 1) Material Benda Uji
- 2) Oven Pengering
- 3) Timbangan
- 4) Cawan
- 5) Desikator

B. Langkah Pengujian

- 1) Cawan yang bersih dan kering, ditimbang dalam keadaan kosong,
- 2) Material sampel diambil secukupnya diletakkan pada cawan
- 3) Timbang cawan yang berisi tanah sampel,
- 4) Panaskan cawan yang berisi tanah dalam oven dengan suhu 105 °C – 110 °C selama 24 jam,
- 5) Timbang kembali cawan yang berisi tanah sampel setelah dioven atau dikeringkan.

Adapun perhitungan kadar air pada material dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan :

- w = kadar air, (%)
- W1 = berat cawan dan tanah basah (gram)
- W2 = berat cawan dan tanah kering (gram)
- W3 = berat cawan (gram)
- (W1-W2) = berat air (gram)
- (W2-W3) = berat tanah kering (partikel padat) (gram)

2.4.2 Pengujian berat jenis tanah

Sesuai dengan SNI 1964:2008 tentang Cara uji berat jenis tanah, Berat Isi Tanah (γ_s) adalah perbandingan antara berat butir (W_s) dengan isi atau volume butir (V_s), sedangkan berat jenis butir tanah / *Specific Gravity* merupakan perbandingan antara *unit weight water* dengan *unit weight material* pada temperature tertentu.

A. Alat dan bahan

- 1) Cawan
- 2) Neraca Analisis dengan ketelitian 0,01 gr
- 3) Oven
- 4) *Pycnometer* dengan kapasitas minimal 100 ml
- 5) *Thermometer* dengan ketelitian baca 1°C
- 6) Botol air suling dengan air sulingnya
- 7) Saringan no. 4

B. Langkah pengujian

- 1) Memanaskan sampel tanah basah dalam oven selama 24 jam.
- 2) Menimbang *pycnometer* kosong, missal (a) gram.
- 3) Mengisi *pycnometer* dengan akuades sampai penuh dan ditimbang, missal (b) gram.

- 4) Mengukur suhu *pycnometer* + Akuades dengan thermometer, missal (T_1 °C) kemudian lihat tabel koreksi termometer (T_1), Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Hubungan Antara Kerapatan Relatif Air dan Faktor Konversi K dalam Temperatur

No	Temperatur (°C)	Hubungan Kerapatan Relatif Air	Faktor Koreksi (K)
1	18	0,9986244	1,0004
2	19	0,9984347	1,0002
3	20	0,9982343	1,0000
4	21	0,9980233	0,9998
5	22	0,9978019	0,9996
6	23	0,9975702	0,9993
7	24	0,9973286	0,9991
8	25	0,9970770	0,9989
9	26	0,9968156	0,9986
10	27	0,9965451	0,9983
11	28	0,9962652	0,9980
12	29	0,9939761	0,9977
13	30	0,9956780	0,9974

Sumber : SNI 1964:2008 (2008)

- 5) Perhitungan nilai akuades dengan persamaan : $W = (b-a) T_1$
- 6) Air dalam *pycnometer* dibuang lalu dikeringkan dan diisi tanah ukuran lolos no 4 yang telah dioven lalu ditimbang, (c) gram.
- 7) Mengisi *pycnometer* dengan akuades hingga penuh lalu dikocok hingga memunculkan gelembung udara dan ditimbang , missal (d) gram dan diukur dengan *thermometer* (T_2 °C), kemudian lihat tabel koreksi *thermometer* (T_2).

8) Menentukan nilai G_s dengan rumus

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan :

G_s = *Spesific Gravity*

γ_s = *Unit Weight Material (gram/cm³)*

γ_w = *Unit Weight Water (gram/cm³) = 1 gram/cm³*

Dari pengujian tersebut nantinya hasil pengujian disajikan dalam form berbentuk tabel seperti contoh pada Tabel 2.6

Tabel 2. 6 Contoh Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis			
Nomor contoh dan kedalaman		BM. 1 – TB 5 / 8,00 – 8,50 m	
Nomor piknometer		C 1	A 6
Berat piknometer + contoh	W_2 (gram)	60,960	67,440
Berat piknometer	W_1 (gram)	42,170	51,150
Berat tanah	$W_t = W_2 - W_1$ (gram)	18,790	16,290
Temperatur °C		20	
Berat piknometer+air+tanah pada temperatur 20 °C	W_3 (gram)	159,060	157,320
Berat piknometer + air pada 20 °C	W_4 (gram)	147,510	147,240
$W_5 = W_1 + W_4$	(gram)	166,300	163,530
Isi tanah	$W_5 - W_3$ (cm ³)	7,240	6,210
Berat jenis (G_s)	$\frac{W_t}{W_5 - W_3}$	2,600	2,620
Rata – rata		2,610	

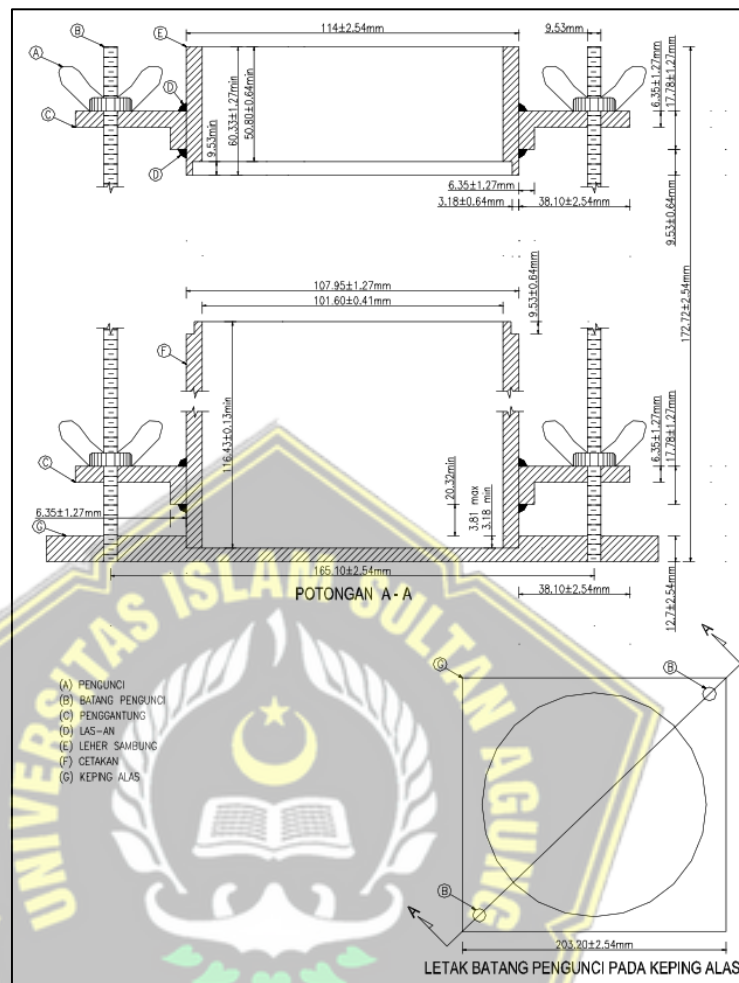
Sumber : SNI 1964:2008 (2008)

2.4.3 Pengujian kepadatan tanah

Pengujian kepadatan tanah laboratorium ini dilakukan sesuai dengan SNI 1743:2008 tentang Cara uji kepadatan berat untuk tanah. Dalam pengujian ini akan dicari beberapa komponen kepadatan, yaitu, kepadatan basah yang merupakan perbandingan volume kepadatan kering, kepadatan kering jenuh dan yang terakhir kepadatan maksimum yaitu kepadatan kering yang paling besar yang diperoleh dari kurva pemadatan.

A. Alat dan bahan

1) Cetakan (tabung cetakan)



Gambar 2. 3 Tabung Cetakan

Sumber: SNI 1743:2008 (2008)

- 2) Alat penumbuk
- 3) *Extruder*
- 4) Timbangan
- 5) Oven pengering
- 6) Pisau perata
- 7) Saringan
- 8) Alat pencampur
- 9) Cawan

B. Langkah pengujian

- 1) Menimbang berat tabung kosong tanpa cincin (*ring*)

- 2) Pasang leher sambung pada cetakan dan keping alas, kemudian kunci dengan rapat dan tempatkan pada landasan beton yang telah disiapkan.
- 3) Ambil benda uji yang akan dipadatkan, lalu tuangkan ke dalam baki dan aduk hingga tercampur merata.
- 4) Padatkan contoh uji di dalam cetakan (dengan leher sambung)
- 5) Lepaskan leher sambung, kemudian potong kelebihan contoh uji yang telah dipadatkan, pastikan permukaan benda uji rata dengan permukaan cetakan.
- 6) Timbang massa cetakan yang berisi benda uji beserta keping alasnya.
- 7) Buka keping alas dan keluarkan benda uji dari dalam cetakan menggunakan *extruder*.
- 8) Ambil beberapa sampel di bawah dan atas silinder untuk menentukan kadar air (*w*) dan *wet density* (γ_b)

C. Perhitungan

- 1) Persamaan kepadatan basah

$$\rho = \frac{B_2 - B_1}{V} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan :

- ρ = kepadatan basah (gram/cm³)
- B_1 = massa cetakan dan keping alas (gram)
- B_2 = massa cetakan, keping alas dan benda uji (gram)
- V = volume benda uji atau volume cetakan (cm³)

- 2) Kadar air benda uji

$$w = \frac{A - B}{B - C} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan :

- w = kadar air (%)
- A = massa cawan dan benda uji basah (gram)
- B = massa cawan dan benda uji kering (gram)
- C = massa cawan (gram)

3) Kepadatan kering

$$\rho_d = \frac{\rho}{100+w} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan :

- ρ_d = kepadatan kering (gram/cm³)
- ρ = kepadatan basah (gram/cm³)
- w = kadar air (%)

4) Kepadatan kering untuk derajat kejenuhan 100%

$$\rho_d = \frac{(G_s \cdot \rho_w)}{(100+G_s \cdot w)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan :

- ρ_d = kepadatan kering (gram/cm³)
- G_s = berat jenis tanah
- ρ_w = kepadatan air (gram/cm³)
- w = kadar air (%)

Dari pengujian tersebut nantinya hasil pengujian disajikan dalam form berbentuk tabel seperti contoh pada Tabel 2.7



Tabel 2. 7 Contoh Tabel dan Grafik Hasil Pengujian Kepadatan Berat

PENGUJIAN KEPADATAN BERAT (Cara A)							
Persiapan Contoh Uji :							
massa tanah basah	(gr)	3000	3000	3000	3000	3000	
Kadar air awal	(%)	12	12	12	12	12	
Penambahan air	(%)	12	14	16	18	20	
Penambahan air	(cc)	240	300	360	420	480	
Kepadatan :							
massa tanah basah + cetakan	(gr)	5970	6060	6180	6160	6100	
Massa cetakan	(gr)	4405	4405	4405	4405	4405	
Massa tanah basah	(gr)	1565	1685	1775	1755	1695	
Isi cetakan	(cm ³)	944	944	944	944	944	
Kepadatan basah, ρ	(gr/cm ³)	1,66	1,78	1,88	1,86	1,80	
Kepadatan kering, ρ_d	(gr/cm ³)	1,39	1,47	1,52	1,47	1,39	
Kadar air :							
No. cawan		A	B	C	D	E	
Massa tanah basah + cawan	(gr)	264,0	260,2	265,0	268,0	260,0	
Massa tanah kering + cawan	(gr)	229,1	221,6	222,7	221,5	212,0	
Massa air	(gr)	39,4	38,6	42,3	46,5	48,0	
Massa cawan	(gr)	45,4	40,0	45,2	43,9	41,1	
Massa tanah kering	(gr)	183,7	181,6	177,5	177,6	166,9	
Kadar air	(%)	19,0	21,3	23,8	26,2	28,8	

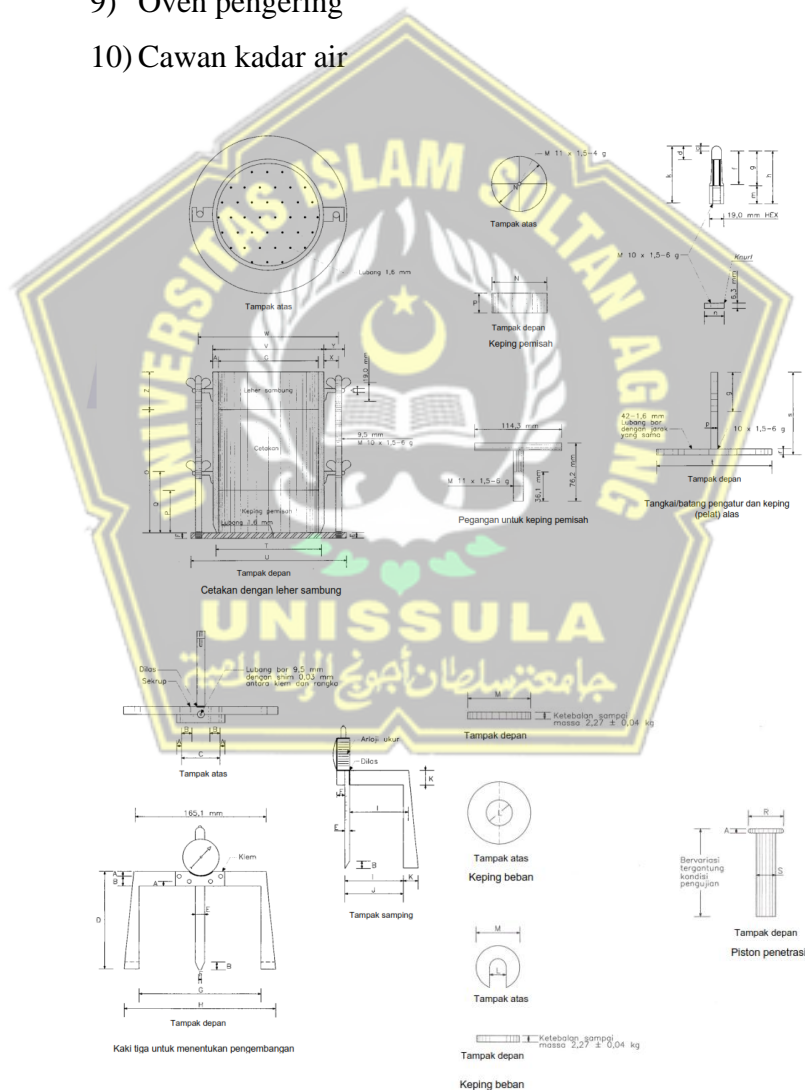
Sumber: SNI 1743:2008 (2008)

2.4.4 Pengujian CBR laboratorium

Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) di laboratorium dilakukan sesuai dengan standar SNI 1744:2012 tentang metode uji CBR laboratorium. Standar ini menetapkan cara untuk menentukan nilai CBR pada material seperti tanah, agregat, atau campuran tanah dan agregat yang telah dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. Tujuan dari pengujian CBR adalah untuk mengevaluasi kekuatan potensial material yang digunakan pada lapisan tanah dasar, fondasi bawah, dan fondasi, termasuk material daur ulang yang digunakan dalam konstruksi jalan dan lapangan terbang.

A. Alat dan bahan

- 1) Cetakan silinder dari logam
- 2) Keping pemisah
- 3) Alat penumbuk
- 4) Alat pengukur pengembangan
- 5) Arloji ukur
- 6) Keping beban
- 7) Piston penetrasi
- 8) Bak perendam
- 9) Oven pengering
- 10) Cawan kadar air



Gambar 2. 4 Peralatan Uji CBR Laboratorium
 Sumber : SNI 1744:2012 (2012)

B. Langkah pengujian

- 1) Pembuatan Benda Uji, Benda uji dibuat pada kondisi kadar air optimum dan pada rentang kadar air tertentu (umumnya 3 sampel)
- 2) Pemasangan Cetakan CBR pada keping alas, dikunci dan ditimbang sampai 5 g terdekat
- 3) Pencampuran material sampel dengan air sesuai kadar yang ditentukan
- 4) Pemadatan benda uji di dalam cetakan
- 5) Ratakan permukaan benda uji dengan memotong kelebihan benda uji sesuai cetakan
- 6) Pengujian nilai pengembangan dengan melakukan perendaman selama kurang lebih 96 jam dan bacaan pengembangan didapatkan dari bacaan akhir arloji
- 7) Pengujian penetrasi dengan pemberian beban pada pistol penetrasi dengan beban awal sebesar 44 N, catat beban penetrasi apabila penetrasi menunjukkan perubahan ukuran tertentu (mm)

C. Perhitungan dan Pengolahan data

- 1) Pengembangan

$$\Delta_h = \frac{(h_1 - h_0)}{h_0} \times 100 \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan :

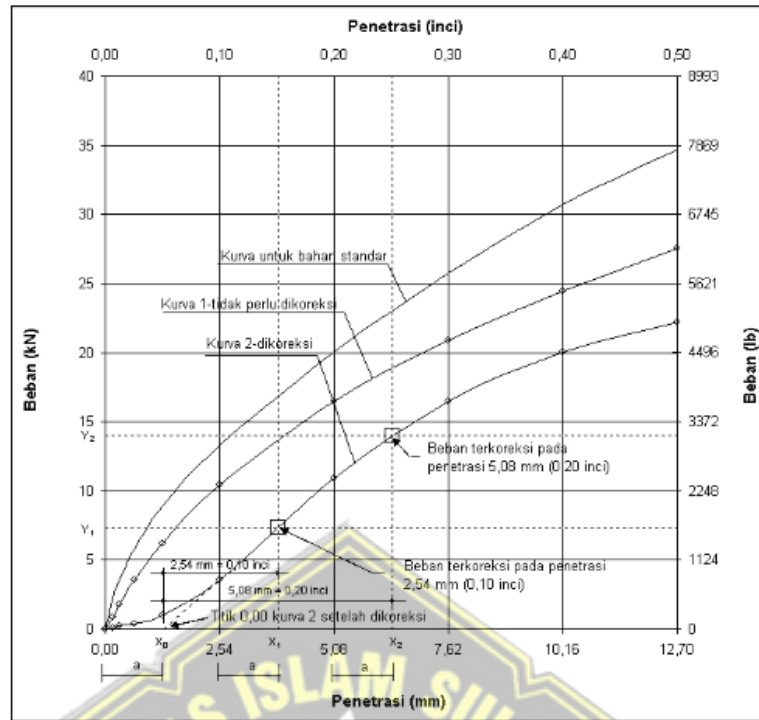
Δ_h = pengembangan (%)

h_0 = tinggi awal benda uji (116,43 mm)

h_1 = tinggi akhir benda uji setelah perendaman (mm)

- 2) Kurva Beban Penetrasi

Untuk memperoleh kurva hubungan antara beban dan penetrasi yang akurat, koreksi bagian kurva cekung dengan memperpanjang garis lurus pada kurva hubungan beban dan penetrasi, hingga memotong sumbu X (absis).



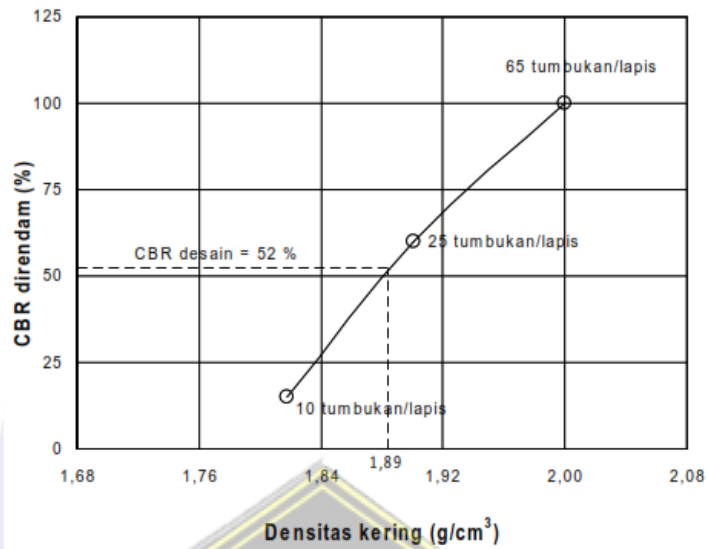
Gambar 2. 5 Kurva Hubungan Antara Beban dan Penetrasi
 Sumber : SNI 1744:2012 (2012)

3) CBR dengan kadar air optimum

$$CBR (\%) = \frac{\text{Beban Terkoreksi}}{\text{Beban Standar}} \times 100 \dots\dots\dots(2.8)$$



4) CBR dengan kadar air tertentu

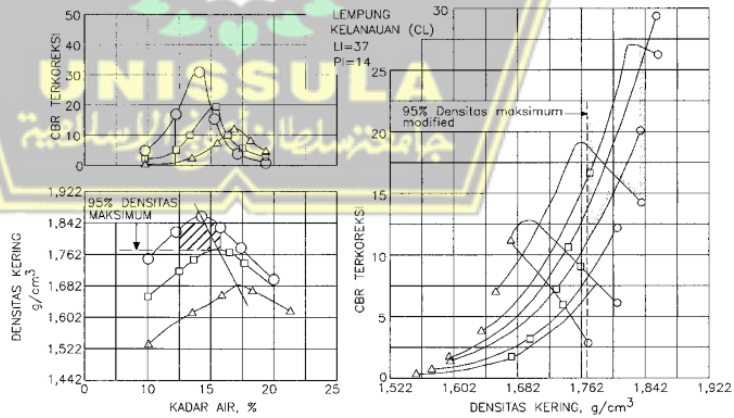


Contoh:
 Jika densitas kering maksimum = 1,99 g/cm³, tentukan CBR pada densitas kering 95 % densitas kering maksimum
 Solusi: 95% dari 1,986 g/cm³ = 1,89 g/cm³
 Pada densitas kering = 1,89 g/cm³, CBR = 52 %

Gambar 2. 6 Penentuan CBR Untuk Sampel Kadar Air Optimum
 Sumber : SNI 1744:2012 (2012)

5) CBR dengan kadar air tertentu

$$CBR(\%) = \frac{\text{Beban Terkoreksi}}{\text{Beban Standar}} \times 100 \dots\dots\dots(2.9)$$



- Keterangan:
- 56 tumbukan per lapis
 - 25 tumbukan per lapis
 - △ 10 tumbukan per lapis

Catatan: Pembebanan untuk perendaman dan uji penetrasi = 22,73 kg. Semua benda uji direndam selama 4 hari. Semua benda uji dipadatkan dalam 5 lapis di dalam cetakan CBR, menggunakan penumbuk 4,5 kg dengan tinggi jatuh 457 mm.

Gambar 2. 7 Penentuan CBR Untuk Sampel Kadar Air Tertentu
 Sumber : SNI 1744:2012 (2012)

2.4.5 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan sesuai dengan SNI 1969:2008, yang menjelaskan cara uji untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar berukuran lebih besar dari 4,75 mm (saringan No. 4). Berat jenis dapat dihitung menggunakan berbagai metode, seperti berat jenis curah kering, curah dalam kondisi jenuh kering permukaan, atau berat jenis semu. Pengujian dilakukan setelah agregat direndam dalam air selama 24 ± 4 jam dan tidak berlaku untuk agregat ringan.

A. Alat dan bahan

- 1) Timbangan
- 2) Wadah sample benda uji
- 3) Tangki air
- 4) Alat penggantung (kawat)
- 5) Saringan 4,75 mm (No. 4)

B. Langkah pengujian

- 1) Pengambilan sampel benda uji sesuai dengan SNI 03-6889-2002
- 2) Keringkan sampel uji dengan temperatur $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$, lalu dinginkan pada temperatur kamar
- 3) Rendam agregat tersebut dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
- 4) Angkat sampel uji dari dalam air, lalu guling-gulingkan pada lembaran penyerap air hingga semua lapisan air yang terlihat hilang
- 5) Tentukan berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan dan catat beratnya.
- 6) Tempatkan contoh uji yang berada dalam kondisi jenuh kering permukaan tersebut di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air
- 7) Keringkan contoh uji tersebut sampai berat tetap pada temperatur $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$, dinginkan pada temperatur-kamar, ukur beratnya dan catat.

C. Perhitungan dan penyajian data

Data hasil pengujian ini akan dihitung dan disajikan dalam format tabel seperti pada Tabel 2.8 berikut

Tabel 2. 8 Format Penyampaian Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Formulir uji dan contoh perhitungan

Surat Permohonan :
 No. Kode Pengujian :
 Lampiran :
 Dibuat Untuk :
 Penerimaan Contoh Uji :
 Jenis Contoh Uji :
 Jumlah Contoh Uji :
 Kemasan Contoh Uji :
 Tanggal Penerimaan :
 Tanggal Pengujian :
 Pengujian Dilakukan Sesuai Metode Uji :

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kering oven	A	1215,25	1195,10	gram
Berat benda uji jenuh kering permukaan di udara	B	1232,10	1211,20	gram
Berat benda uji dalam air	C	749,86	740,69	gram

Perhitungan	Notasi	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (S_d)	$\frac{A}{(B-C)}$	2,52	2,54	2,53
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{B}{(B-C)}$	2,55	2,54	2,54
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{(A-C)}$	2,61	2,63	2,62
Penyerapan air (S_w)	$\left[\frac{B-A}{A}\right] \times 100\%$	1,39	1,35	1,37

Pemeriksa, _____ Penguji,

() ()

Sumber: SNI 1969:2008 (2008)

2.4.6 Pengujian analisa saringan agregat

Pengujian analisis saringan agregat mengikuti SNI ASTM C136:2012, yang mengatur metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan kasar. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan apakah distribusi ukuran partikel memenuhi spesifikasi yang berlaku, serta untuk menyediakan data penting yang dapat digunakan dalam pengelolaan produksi berbagai jenis agregat dan campuran yang mengandung agregat.

A. Alat dan bahan

- 1) Timbangan
- 2) Saringan
- 3) Pengguncang mekanis
- 4) Oven

B. Langkah pengujian

- 1) Pengambilan sampel uji

Tabel 2. 9 Tabel Berat Minimum Sampel Benda Uji Agregat Kasar

Ukuran nominal maksimum bukaan saringan		Massa minimum contoh uji	
mm	inci	kg	lb
9,5	3/8	1	2
12,5	1/2	2	4
19,0	3/4	5	11
25,0	1	10	22
37,5	1½	15	33
50,0	2	20	44
63,0	2½	35	77
75,0	3	60	130
90,0	3 ½	100	220
100,0	4	150	330
125,0	5	300	660

Sumber : SNI ASTM C136:2012


- 2) Keringkan benda uji pada dengan temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}C$
- 3) Siapkan saringan
- 4) Tuang sampel benda uji kedalam susunan saringan
- 5) Lakukan penyaringan dengan menggunakan alat pengguncang atau secara manual

6) Timbang dan catat massa sampel benda uji tertahan pada masing-masing saringan

C. Perhitungan dan penyajian data

Data hasil pengujian ini akan dihitung dan disajikan dalam format tabel seperti pada Tabel 2.10 berikut

Tabel 2. 10 Format Penyampaian Hasil Pengujian Analisa Saringan



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Jl. A. H. Nasution No. 264, Kotak Pos 2 Ujungberung Bandung 40294 - Tlp. (022) 7802251, Fsx. (022) 7802726 e-mail : pusja@meisa.net.id

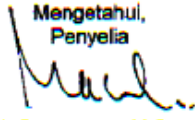
No. pengujian :
 Jenis contoh : Agregat Campuran
 Jumlah contoh : 10 kg
 Diterima tanggal : 17 Maret 2009
 Diuji tanggal : 18 Maret 2009
 Diuji oleh : Budi Subrata
 Diperiksa oleh : Penyelia Laboratorium

Pengujian dilaksanakan sesuai dengan metode uji SNI ASTM C136:2012.

Saringan	Massa tertahan	Jumlah tertahan	Persentase kumulatif (%)		Spesifikasi
			Tertahan (c)	Lolos (d)	
mm (inci)	Gram (a)	Gram (b)			
76,2 mm (3 inci)	-	-	-	-	
63,5 mm (2 ½ inci)	-	-	-	-	
50,8 mm (2 inci)	-	-	-	-	
36,1 mm (1 ½ inci)	-	-	0,00	100,00	
25,4 mm (1 inci)	371,00	371,00	3,71	96,29	
19,1 mm (¾ inci)	154,00	525,00	5,25	94,75	
12,7 mm (½ inci)	4 158,00	4 683,00	46,83	53,17	
9,52 mm (3/8 inci)	1 758,26	6 441,26	64,41	35,59	
4,75 mm (No. 4)	1 189,74	7 631,01	76,31	23,69	
2,36 mm (No. 8)	502,22	8 133,22	81,33	18,67	
1,18 mm (No. 16)	501,13	8 634,36	86,34	13,66	
0,6 mm (No. 30)	472,39	9 106,75	91,07	8,93	
0,3 mm (No. 50)	404,05	9 510,80	95,11	4,89	
0,15 mm (No. 100)	316,73	9 827,53	98,28	1,72	
0,075 mm (No. 200)	131,25	9 958,78	99,59	0,41	
Pan	41,22	10 000,00	100,00	0,00	
Modulus kehalusan :			6,49		

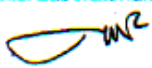
Bandung, 19 Maret 2009

**Mengetahui,
Penyelia**



(Ir. Roestaman, M.Sc)

Teknisi Laboratorium,



(Budi Subrata)

Sumber : SNI ASTM C136:2012

2.4.7 Pengujian bahan yang lebih halus dari saringan 75 μ m (No. 200) dalam agregat dengan pencucian

Pengujian material yang lebih halus dari saringan 75 μ m (No. 200) pada agregat dengan metode pencucian dilakukan sesuai dengan SNI ASTM C117:2012. Pengujian ini dilakukan dengan mencuci agregat. Pada umumnya, air biasa cukup untuk memisahkan partikel yang lebih halus dari 0,075 mm dari partikel yang lebih kasar. Namun, dalam beberapa kasus, partikel yang lebih kecil dapat menempel pada partikel yang lebih besar, seperti lapisan lempung atau pada agregat yang telah diekstraksi dari campuran beraspal. Dalam situasi ini, partikel yang lebih kecil dapat dipisahkan lebih mudah dengan menggunakan bahan pembersih yang dicampur ke dalam air.

A. Alat dan bahan

- 1) Saringan
- 2) Cawan
- 3) Timbangan
- 4) Oven

B. Langkah pengujian

- 1) Siapkan sampel benda uji
- 2) Bilas secukupnya dan saring sampel benda uji menggunakan saringan No.200
- 3) Timbang benda uji lalu letakkan ke dalam oven dalam waktu 24 jam
- 4) Kemudian menimbang berat kering oven sesudah pencucian.
- 5) Analisa spesifikasi agregat halus dan kasar dengan syarat untuk kadar lumpur maksimum agregat halus <3% sedangkan agregat kasar <1%

C. Langkah pengujian

- 1) Berat kering benda uji sebelum pencucian

$$W_4 = W_1 - W_2 \dots \dots \dots (2.9)$$

2) Berat kering benda uji setelah pencucian

$$W_5 = W_3 - W_2 \dots \dots \dots (2.10)$$

3) Bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm)

$$\frac{(W_4 - W_5)}{W_4} \times 100 \dots \dots \dots (2.11)$$

dengan :

W_1 = Berat kering benda uji sebelum pencucian + wadah
(gram)

W_2 = Berat wadah (gram)

W_3 = Berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah
(gram)

W_4 = Berat kering benda uji sebelum pencucian (gram)

W_5 = Berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

2.4.8 Pengujian keausan agregat dengan mesin *los angeles*

Pengujian keausan agregat dengan mesin *los angeles* dilakukan sesuai dengan SNI 2417:2008. Pengujian abrasi mengukur daya tahan agregat terhadap kikisan, yang secara langsung berkaitan dengan kekuatan hancurnya. Secara umum, dapat diasumsikan bahwa beton dengan kekuatan hancur yang tinggi juga memiliki daya tahan abrasi yang besar, yang diuji menggunakan alat Los Angeles. Hasil pengujian ini dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi perkerasan jalan atau konstruksi beton.

A. Alat dan bahan

- 1) Mesin Abrasi Los Angeles
- 2) Saringan No. 12 dan saringan lainnya
- 3) Timbangan, dengan ketelitian 5 gram
- 4) Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm (1 7/8") dan berat masing-masing

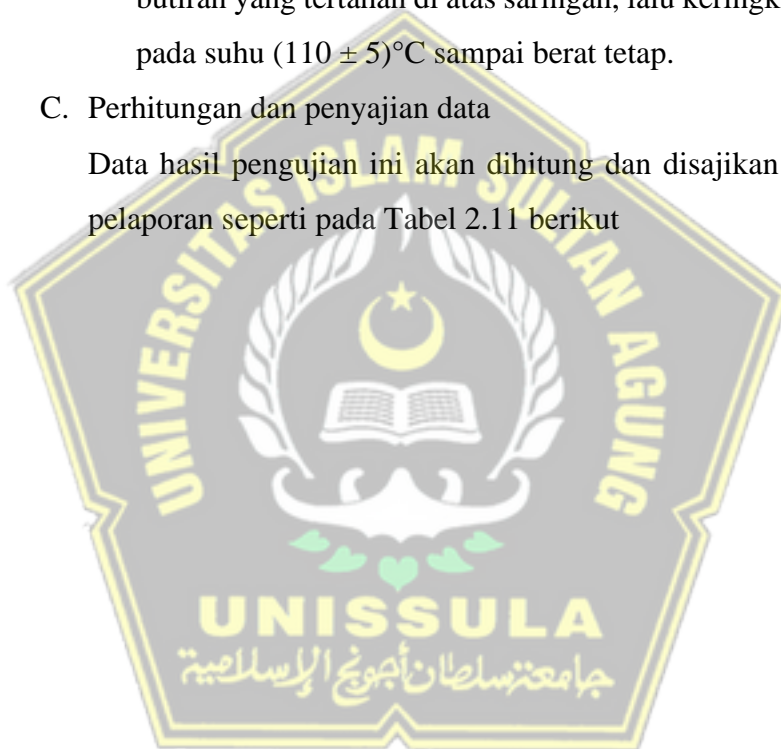
- 5) Oven dengan pengatur suhu sampai $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- 6) Alat bantu pan dan kuas.

B. Langkah pengujian

- 1) Masukkan benda uji dan bola baja ke dalam mesin Abrasi Los Angeles.
- 2) Putar mesin pada kecepatan antara 30 sampai 33 rpm.
- 3) Tentukan jumlah putaran gradasi
- 4) Setelah pemutaran selesai , keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan no. 12 (1,7 mm); cuci bersih butiran yang tertahan di atas saringan, lalu keringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.

C. Perhitungan dan penyajian data

Data hasil pengujian ini akan dihitung dan disajikan dalam format pelaporan seperti pada Tabel 2.11 berikut



Tabel 2. 11 Format Penyampaian Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Formulir pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles (100 putaran)			
No. Contoh : Agregat Kasar		Tanggal : 8 Agustus 2005	
Pekerjaan : Campuran beraspal		Dikerjakan : Paldjo	
		Diperiksa : Wayan Dharmayasa	
Gradasi pemeriksaan		Jumlah putaran = 100 putaran	
Ukuran saringan		I	II
Lolos	Tertahan	Berat (a)	Berat (a)
75,2 (3")	63,5 (2 1/2")		
63,5 (2 1/2")	50,8 (2")		
50,8 (2")	36,1 (1 1/2")		
36,1 (1 1/2")	25,4 (1")		
25,4 (1")	19,1 (3/4")		
19,1 (3/4")	12,7 (1/2")	2500	2500
12,7 (1/2")	9,52 (3/8")	2500	2500
9,52 (3/8")	6,35 (1/4")		
6,35 (1/4")	4,75 (No. 4)		
4,75 (No. 4)	2,36 (No. 8)		
Jumlah Berat		5000	5000
Berat tertahan saringan No. 12 sesudah percobaan (b)		4027,7	3950,5
I. a	= 5000 gram	II. a	= 5000 gram
b	= 4027,7 gram	b	= 3950,5 gram
a - b	= 972,3 gram	a - b	= 1049,5 gram
Keausan I	= $\frac{a-b}{a} \times 100\% = 19,45\%$	Keausan II	= $\frac{a-b}{a} \times 100\% = 20,99\%$
Keausan rata - rata	= $(19,45 + 20,99)/2 = 20,22\%$ dibulatkan 20%		

Sumber: SNI 2417:2008 (2008)

2.4.9 Pengujian CBR lapangan

Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) lapangan mengikuti SNI 1738:1989. Pengujian CBR dapat dilakukan langsung di tempat atau dengan mengambil contoh asli tanah menggunakan cetakan CBR. Pengujian ini membandingkan beban penetrasi yang diterima oleh suatu lapisan tanah atau perkerasan dengan beban standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

Pengujian CBR umumnya digunakan untuk perencanaan lapis tambahan (*overlay*). Jika pengujian CBR tanpa direndam tidak diperlukan, pengujian dapat dilakukan langsung di tempat. Namun, jika pengujian langsung di tempat tidak dapat dilakukan, misalnya karena tanah dasar cukup dalam atau truk pengangkut beban tidak dapat mencapai lokasi, maka pengambilan contoh asli tanah dengan cetakan CBR dapat dilakukan sebagai alternatif.

A. Alat dan bahan

- 1) Dongkrak CBR mekanik
- 2) Piston penetrasi
- 3) Cincin Penguji
- 4) Truk sebagai beban

B. Langkah pengujian

- 1) Turunkan torak penetrasi pada permukaan tanah sehingga piston penetrasi memberikan beban permulaan sebesar 4,5 kg atau 10 lb.
- 2) *Setting* arloji cincin penguji dan arloji penunjuk penetrasi ke nol. Berikan beban secara konsisten sehingga kecepatan penetrasi mencapai sekitar 1,25 mm (0,05") per menit. Catat pembacaan beban pada penetrasi 3,128 mm atau 0,0125"; 0,62 mm atau 0,025"; 1,25 mm atau 0,05"; 0,187 mm atau 0,075"; 2,5 mm atau 0,10"; 3,75 mm atau 0,15"; 5 mm atau 0,20"; 7,5 mm atau 0,30"; 10 mm atau 0,40"; dan 12,5 mm atau 0,50".
- 3) Tentukan kadar air dan berat isi bahan setempat.

C. Penyajian data

Pemeriksaan harus dilakukan setidaknya 3 kali dengan jarak minimal 30 cm antara titik pemeriksaan. Jika hasil dari 3 pemeriksaan pertama berada dalam batas toleransi, maka nilai CBR lapangan dapat ditetapkan sebagai rata-rata dari hasil pemeriksaan tersebut. Namun, jika hasil dari 3 pemeriksaan pertama melebihi batas toleransi, harus dilakukan 3 pemeriksaan tambahan. Nilai CBR lapangan yang ditetapkan adalah rata-rata dari 6 pemeriksaan.

Adapun batasan-batasan toleransi CBR seperti berikut:

$$\text{CBR} < 10\% \quad : \quad \pm 3\%$$

- CBR 10 - 30% : ± 5%
- CBR 30 - 60% : ± 10%
- CBR > 60% : ± 25%

Hasil pengujian tersebut dicantumkan dalam formulir laporan hasil pengujian seperti pada Tabel 2.12 berikut

Tabel 2. 12 Contoh *Form* Hasil Pengujian CBR Lapangan

Lokasi pengujian : Sukaasih, Sarijadi - Bandung		Kedalaman pengujian : 30 cm dari permukaan perkerasan	
Waktu pengujian : 12 Juli 2007		Jenis lapisan perkerasan : beton aspal	

Informasi Data Tanah			
Kadar Air (w) : 33,2 %	Berat isi kering : 1,28 g/cm ³		
Berat isi basah (γ _t) : 1,70 g/cm ³			

Waktu (min)	Penurunan (mm)	Pembacaan Arloji	Beban (kg)	Tegangan (kg/mm ²)
1/4	0,32	3,5	87	0,04
1/2	0,64	6,1	151	0,07
1	1,27	11	271	0,13
1 1/2	1,91	17	424	0,21
2	2,54	21	523	0,26
3	3,81	3	743	0,37
4	5,08	37	920	0,45
6	7,62	51	1267	0,63
8	10,16	62	1538	0,76
10	12,70	69	1716	0,85

CBR	Penurunan	
		0,254 cm
Nilai CBR	$\frac{0,28}{0,71} \times 100\% = 40\%$	$\frac{0,48}{1,06} \times 100\% = 46\%$

Diperiksa oleh _____ Dikerjakan oleh _____

Sumber : SNI 1738:1989 (1989)

2.4.10 Pengujian *sand cone*

Pengujian *Sand Cone* atau pengujian kepadatan lapangan dengan alat konus berdasarkan pada SNI 2828:1992. Pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan angka kepadatan lapangan (γ_d).

A. Alat dan bahan

- 1) Tabung atau botol tempat pasir
- 2) Cetakan atau takaran yang telah diketahui isinya ± 2019 ml, dengan diameter lubang 16,51 cm
- 3) Corong kalibrasi pasir dengan ukuran 16,51 cm dan plat corong
- 4) Pelat untuk dudukan corong
- 5) Kuas
- 6) Mistar atau Perata
- 7) Meteran,
- 8) Palu
- 9) Pahat
- 10) Peralatan penentu kadar air (*speedy test*)
- 11) Timbangan

B. Langkah pengujian

- 1) Mencari berat jenis pasir standar atau pasir Ottawa
 - a) Gelas ukur ditimbang = a gram.
 - b) Ambil pasir Ottawa secukupnya, masukkan dalam gelas ukur.
 - c) Timbang gelas ukur dan pasir Ottawa = b gram
 - d) Volume pasir dalam gelas ukur dapat dibaca pada skala yang tertera = $c \text{ cm}^3$
 - e) Berat jenis pasir = $\frac{(b-a)}{c} \text{ gram/cm}^3$
- 2) Mencari berat pasir dalam kerucut
 - a) Timbang berat dari tabung kerucut logam dan pasir yang mengisi tabung = W1 gram
 - b) Siapkan plat berlubang pada tempat datar.

- c) Tempatkan alat *sand cone* di atas pelat berlubang secara terbalik dengan kondisi kerucut logam berada di bawah dan tabung pasir berada di atas.
- d) Buka keran pengunci hingga pasir keluar memenuhi kerucut (*cone*), lalu tutup kembali.
- e) Timbang tabung + kerucut dan sisa pasir di dalamnya = W2 gram
- f) Berat pasir dalam kerucut (W4) = (W1 – W2) gram
- 3) Mencari rapat massa atau *bulk density* lapangan
- a) Timbang kembali berat dari tabung kerucut logam dan pasir yang mengisi tabung (W1)
- b) Buat lubang pada tanah yang besarnya sama dengan lubang plat atas alas dengan kedalaman 10-15cm.
- c) Tanah dari lubang tersebut dimasukkan kantong plastik agar tidak terkena pengaruh luar dan tidak tercecer, lalu timbang beratnya (Wt).
- d) Letakkan pelat berlubang tepat di atas lubang tersebut
- e) Letakkan alat *sand cone* berisi di atas pelat berlubang dengan kerucut pada posisi bawah dan tabung pada posisi atas, kemudian keran dibuka sampai pasir memenuhi lubang galian dan kerucut, setelah itu keran pengunci ditutup.
- f) Timbang berat pasir sisa dan tabung + kerucut ditimbang (W2)
- g) Berat pasir yang digunakan (W3) = (berat pasir awal + tabung) – (berat pasir sisa+ tabung).
- h) Berat pasir dalam lubang (W5) = berat pasir yang digunakan (W3) – berat pasir dalam kerucut (W4).
- i) Volume pasir yang mengisi lubang dirumuskan
- $$V = \frac{\text{berat pasir dalam lubang}}{\text{berat jenis pasir}} = \frac{ws}{\gamma_s}$$
- j) *Bulk density* (ρ_b) dapat dihitung
- $$\rho_b = \frac{\text{berat tanah asli lubang}}{\text{volume pasir yang mengisi lubang}} = \frac{wt}{V_s}$$

4) Mencari *dry density* (ρ_d)

- a) Mengambil sedikit tanah asli dari lubang yang telah dibungkus plastik.
- b) Meletakkan tanah tersebut dalam cawan yang telah ditimbang berat kosongnya, kemudian menimbang cawan dan tanah tersebut.
- c) Cawan + sampel tanah dioven selama 24 jam, lalu ditimbang.
- d) Maka kadar air dapat dihitung :

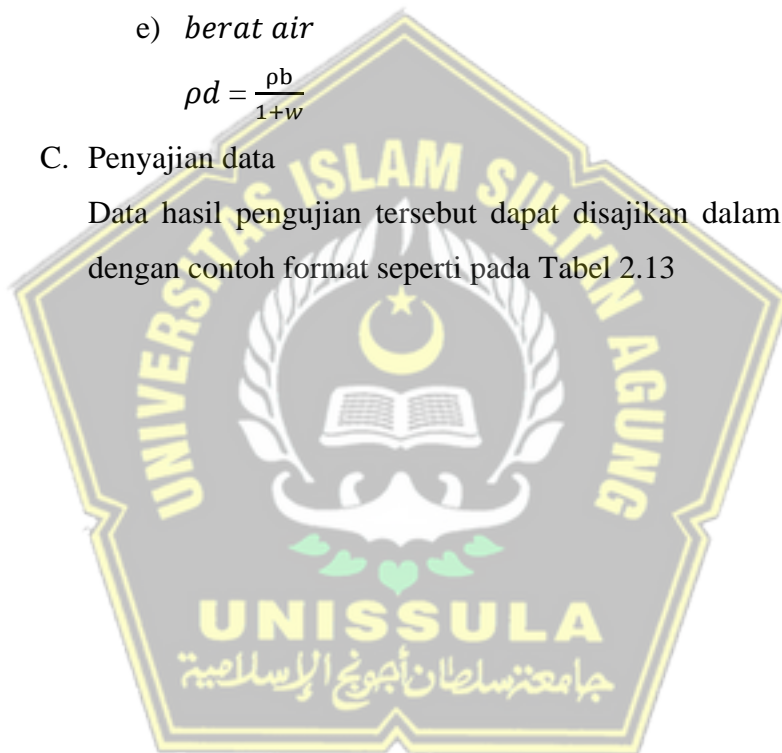
$$W = \frac{\text{berat air}}{\text{berat tanah kering}} \times 100\%$$

- e) *berat air*

$$\rho_d = \frac{\rho_b}{1+w}$$

C. Penyajian data

Data hasil pengujian tersebut dapat disajikan dalam form laporan dengan contoh format seperti pada Tabel 2.13



Tabel 2.13 Contoh Formulir Laporan Hasil Pengujian Sand Cone

**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PU
PUSAT LITBANG JALAN
LABORATORIUM TEKNIK JALAN**

Lampiran surat/Laporan no : _____ Tanggal : _____
 Nomor Contoh : _____ Dikerjakan : _____
 Pekerjaan : _____ Diperiksa : _____

PENGUJIAN KEPADATAN LAPANGAN DENGAN KONUS PASIR

No.	Uraian	Rumus	Nomor Pengujian	
			1	2
I Berat Isi Pasir Dengan Botol Alat :				
1	Berat botol + corong	W_1	2260	2260
2	Berat botol + corong + air	W_2	5817.7	5817.7
3	Isi botol + corong kecil	$W_2 - W_1$	3557.7	3557.7
4	Berat botol + corong + pasir	W_3	7810	7810
5	Berat isi pasir	$\gamma_p = (W_3 - W_1) - (W_2 - W_1)$	1,56	1,56
II Berat Isi Pasir Dengan Takaran				
A. Berat Pasir Dalam Corong				
1	Berat botol + corong + pasir	W_4	7520	7520
2	Berat botol + corong + sisa pasir	W_5	4375	4375
3	Berat pasir dalam corong	$W_4 - W_5$	3145	3145
B. Berat Pasir Dalam Takaran				
1	Isi Takaran	V_k	2016	2016
2	Berat botol + corong + pasir	W_{11}	7400	7400
3	Berat botol + corong + sisa pasir	W_{12}	1120	1120
4	Berat pasir dalam takaran	$W_{13} = W_{11} - W_{12} - (W_4 - W_5)$	3135	3135
C. Berat Isi Pasir				
		$\gamma_p = W_{13}/V_k$		
III Kepadatan Tanah				
1	Berat tanah + wadah	W_6	2025	2025
2	Berat wadah	W_8	145	145
3	Berat tanah	$W_6 - W_8$	1880	1900
4	Berat + botol + corong + pasir	W_9	7250	7250
5	Berat botol + corong + sisa pasir	W_7	1890	2200
6	Berat pasir dalam tabung	$W_{10} = (W_9 - W_7) - (W_4 - W_5)$	2215	1880
7	Isi lubang	$V_n = W_{10}/\gamma_p$	1419,9	1205,1
8	Berat isi tanah	$\gamma_s = (W_6 - W_8)/V_n$	1,32	1,5
9	Berat isi kering tanah	$\gamma_{d\ lap} = \gamma_s/(1 + W_c)$	1,15	1,37

Keterangan :
 Corong dimaksudkan corong besar dan kecil
 Hasil perhitungan :
 - Kadar air, W_c : 15 %.
 - Kepadatan lapangan ($\gamma_{d\ lap}$) = 1,15 gram/cm³.

Sumber: SNI 2828:1992 (1992)

2.5 Manajemen Biaya

Manajemen biaya merupakan proses berupa perencanaan, estimasi, penganggaran, pembiayaan, pendanaan, pengelolaan, dan pengendalian biaya. Hal ini dilakukan supaya pekerjaan pada proyek dapat terlaksana/terrealisasi sesuai dengan rencana jadwal pekerjaan yang telah dibuat. Proses manajemen biaya sebagai berikut:

- a. Rencana Manajemen Biaya
- b. Perkiraan Biaya
- c. Menentukan Anggaran
- d. Pengendalian Biaya

2.5.1 Perkiraan Biaya

Merupakan proses perencanaan perhitungan biaya. Proses ini membutuhkan penentuan sumber daya yang akan digunakan untuk menyelesaikan tiap rencana pekerjaan dan memperkirakan biaya atas kebutuhan sumber daya tersebut. Proses ini penting untuk menentukan jumlah anggaran proyek.

Perkiraan biaya adalah penilaian kuantitatif biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan aktivitas proyek, berdasarkan informasi yang tersedia pada waktu tertentu. Proses ini melibatkan identifikasi alternatif biaya serta pertimbangan aspek biaya dan risiko, seperti membuat atau membeli, untuk mencapai biaya optimal. Biaya mencakup sumber daya seperti tenaga kerja, bahan, peralatan, layanan, dan biaya tambahan seperti inflasi atau biaya darurat. Perkiraan biaya dapat disajikan secara rinci atau dalam bentuk ringkasan.

2.5.2 Menentukan Biaya

Merupakan proses perencanaan perhitungan biaya. Proses ini membutuhkan pengumpulan perkiraan biaya atas seluruh pekerjaan untuk mengembangkan anggaran biaya proyek.

2.5.3 Pengendalian Biaya

Merupakan proses *monitoring* dan kontrol. Proses ini membutuhkan pemantauan dan pengendalian biaya sampai dengan proyek telah memasuki masa pemeliharaan. Dalam pengendalian biaya dibutuhkan perbandingan biaya aktual dan biaya rencana.

2.6 Konsep Efisiensi

Efisiensi adalah pencapaian *output* maksimal dengan *input* tertentu, atau penggunaan *input* serendah mungkin untuk mencapai *output* yang diinginkan. Secara umum, efisiensi dapat dipahami sebagai perbandingan antara *output* dan *input*, yang kemudian dikaitkan dengan standar kinerja atau target yang telah ditetapkan (Saal, 2021).

Menurut Mardiasmo (2009) efisiensi berkaitan erat dengan konsep produktivitas, yang diukur melalui perbandingan antara *output* yang dihasilkan dan *input* yang digunakan (*cost of output*).

Efisiensi adalah ukuran tingkat penghematan pemakaian sumber daya (*input*) dalam suatu proses, di mana semakin hemat memakai sumber daya, maka akan semakin efisien proses tersebut dilakukan (Giatman, 2006).

2.7 Penelitian Sebelumnya

Dalam penyusunan penelitian dibutuhkan sumber atau referensi penelitian terdahulu, berikut ialah referensi yang digunakan untuk penelitian saat ini.

Tabel 2. 14 Daftar Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Penulis	Tahun, tempat	Tujuan	Kesimpulan	Variabel
1	Evaluasi Pemanfaatan Limbah <i>Slag</i> Baja Sebagai Agregat Halus Pada Produksi Beton Mutu Tinggi	Irka Tangke Datu, Khairil	2019, Politeknik Negeri Ujung Pandang	Mengetahui nilai kuat tekan beton mutu tinggi jika digunakan <i>steel slag</i> sebagai agregat halus.	1) Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik material <i>slag</i> baja sesuai untuk digunakan sebagai pengganti agregat halus. 2) Penggunaan 100% agregat halus <i>slag</i> baja menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 57,08 MPa.	<i>Steel slag</i> , beton, dan kuat tekan.

Tabel 2. 14 Daftar Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No.	Judul	Penulis	Tahun, tempat	Tujuan	Kesimpulan	Variabel
2	<i>Soil Improvement Using Steel Slag Waste On The Value Of The Unconfined Compressive Strength Of The Soil (Case Study On Bojonegara Highway Serang Banten)</i>	Rama Indera Kusuma, Enden Mina, Woelandari Fathomah, Muhammad Parma Lovean Tora	2021, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	<i>Testing of variations in steel slag aims to obtain the best composition obtained while curing is to determine the process of increasing or decreasing the value of unconfined compressive strength in time.</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1) <i>The Atterberg limit values for the soil in this location are LL = 56.21% and PL = 33.92% based on the physical property tests..</i> 2) <i>The specific gravity (Gs) of the soil is 2.211, and grain size analysis shows that it is fine-grained.</i> 3) <i>According to the USCS classification, the soil is categorized as CH, indicating it is an inorganic clay with high plasticity.</i> 4) <i>The compressive strength test results showed that soil mixed with 0% steel slag and cured for 0 days had a qu value of 0.92 kg/cm².</i> 	<i>Steel slag, subgrade</i>

Tabel 2. 14 Daftar Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No.	Judul	Penulis	Tahun, tempat	Tujuan	Kesimpulan	Variabel
3	Pengaruh Penggunaan Limbah <i>Steel Slag</i> Sebagai Pengganti Agregat Kasar Ukuran 1/2” Dan 3/8” Pada Campuran <i>Hot Rolled Sheet Wearing Course</i> (HRS-WC)	Anita Rahmawati	2017, Universitas Muhammad iyah Yogyakarta	Penggunaan <i>steel slag</i> sebagai bahan pengganti agregat terhadap karakteristik campuran beraspal	<ol style="list-style-type: none"> 1) Penggunaan <i>steel slag</i> yang lebih banyak dalam campuran perkerasan dapat meningkatkan nilai stabilitas. 2) Penggunaan <i>steel slag</i> yang lebih banyak dalam campuran HRS dapat meningkatkan nilai kelelahan. 3) Disarankan bahwa penambahan <i>steel slag</i> sebanyak 50% dapat meningkatkan kemampuan jalan untuk menahan beban, namun tetap menjaga fleksibilitas dan kelenturannya. 	Agregat, aspal, dan <i>steel slag</i> .

Tabel 2. 14 Daftar Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No.	Judul	Penulis	Tahun, tempat	Tujuan	Kesimpulan	Variabel
4	Pemanfaatan <i>Steel Slag</i> Untuk Bahan Baku Pembuatan <i>Paving Block</i>	Zulmahdi Darwi, Soelarso, dan Wili Bakhtiar	(Tahun), Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Mengetahui kuat tekan <i>paving block</i> dengan penggunaan <i>steel slag</i> sebagai bahan pengganti agregat, Pemanfaatan limbah <i>steel slag</i> sebagai material alternatif dalam pembuatan <i>paving block</i>	1) Menggunakan <i>steel slag</i> sebagai pengganti agregat dalam komposisi A5 dan B5 menghasilkan kuat tekan maksimum masing-masing sebesar 30,83 MPa dan 29 MPa pada usia 28 hari. 2) Penggunaan air sebanyak 0,5 memberikan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan air sebanyak 0,6.	Kuat tekan <i>paving block</i> , <i>steel slag</i> .
5	Pemanfaatan Limbah Baja (<i>Slag Baja</i>) Sebagai Bahan Campuran Aspal Terhadap Karakteristik Marshall	Kuson Fransiskus Banurea	2020, Universitas Medan Area	Mengetahui nilai parameter <i>Marshall</i> jika digunakan <i>slag baja</i> sebagai campuran aspal.	Penambahan kadar <i>slag baja</i> yang lebih tinggi dalam campuran aspal AC-WC dapat menurunkan nilai kelelehan. Sebaliknya, penurunan kadar <i>slag baja</i> akan meningkatkan stabilitas.	<i>Slag baja</i> , campuran aspal, pengujian <i>Marshall</i> .

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tinjauan Umum

Dalam Tugas Akhir ini, metode pengolahan data yang dilakukan adalah dengan melakukan perbandingan hasil pengujian dan perbandingan harga satuan terhadap material *steel slag* dan *capping layer*. Jenis penelitian yang dilakukan ialah secara kuantitatif deskriptif, hal ini bermaksud untuk menunjukkan dan menjelaskan terkait dengan perbandingan penelitian terkait material tersebut pada Proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang Seksi 2.

3.2 Lokasi dan Subjek Penelitian

Lokasi penelitian dari Tugas Akhir ini dilakukan pada Proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang Seksi 2 yang berlokasi di Kecamatan Cikulur – Kecamatan Cileles, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten dengan subjek penelitian berupa *steel slag* material pengganti untuk *capping layer*.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian
Sumber: <https://www.google.com/maps> (2024)

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian berisi urutan ataupun langkah-langkah dalam penelitian yang dilakukan secara teratur atau sistematis. Berikut merupakan tahapan penelitian:

A. Identifikasi Masalah

Sebelum dilakukan pelaksanaan penelitian, diperlukan identifikasi dan perumusan masalah terlebih dahulu. Pengidentifikasian masalah ini menjadi bagian yang penting dalam penelitian karena merupakan sumber utama dalam pelaksanaan penelitian.

B. Studi Literatur

Merupakan langkah untuk mendapatkan informasi serta pengetahuan mengenai objek penelitian yang nantinya dapat digunakan sebagai referensi dasar penelitian. Studi literatur dapat melalui media massa, buku, jurnal maupun penelitian terdahulu yang memiliki kaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

C. Penentuan Judul Penelitian

Penentuan judul penelitian dilakukan untuk menggambarkan penelitian, yang mana di dalamnya akan diberikan visualisasi objek, lokasi maupun tujuan penelitian yang akan dicapai.

D. Penyusunan Proposal

Penyusunan proposal tersedia latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan, tinjauan pustaka, dan metodologi penelitian.

E. Pengumpulan Data

Merupakan langkah yang dilakukan untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam mencapai tujuan penelitian. Data yang didapat berupa data sekunder dan data primer.

F. Analisis Data

Setelah data terkumpul, dapat dilakukan analisis data. Hal ini untuk memperoleh jawaban atas tujuan maupun rumusan masalah penelitian yang dilakukan.

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan proses penting pada pelaksanaan penelitian, pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh hasil ataupun informasi dari penelitian yang akan dilaksanakan. Jenis data yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini adalah data sekunder dan data primer.

3.4.1. Data sekunder

Data sekunder yang digunakan ialah berupa literatur-literatur mengenai penggunaan *steel slag*, manajemen konstruksi dan peraturan yang mengatur tentang penggunaan *steel slag*.

3.4.2. Data primer

Data primer pada penelitian ini didapatkan dari data proyek dan peneliti terlibat dalam pengambilan data proyek tersebut, sehingga dikategorikan sebagai data primer. Data yang digunakan berupa hasil pengujian laboratorium terhadap material *steel slag*. Hasil dari pengujian ini akan digunakan sebagai salah satu penilaian layak atau tidaknya material *steel slag* digunakan sebagai material pengganti *capping layer*.

1. Hasil pengujian laboratorium berisi data berupa:
 - a. Pengujian kadar air tanah;
 - b. Pengujian berat jenis tanah;
 - c. Pengujian kepadatan ringan tanah;
 - d. Pengujian CBR laboratorium;
 - e. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar;
 - f. Pengujian analisa saringan agregat;
 - g. Pengujian bahan yang lebih halus dari saringan 75 μ m (No. 200) dalam agregat dengan pencucian; dan
 - h. Pengujian keausan agregat dengan mesin los angeles.
2. Hasil Pengujian lapangan
 - a. Pengujian CBR Lapangan
 - b. Pengujian *Sand Cone*
3. *Bill of Quantity* merupakan rincian jenis pekerjaan yang berisi volume dan harga satuan.

3.5 Variabel Penelitian

Secara umum variabel dalam penelitian ini adalah berupa mutu kualitas dari hasil pengujian material *steel slag*, hasil pengujian material berbutir kelas B, harga satuan pekerjaan *capping layer* dengan material *steel slag* serta harga satuan pekerjaan *capping layer* dengan material berbutir kelas B pada Proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang Seksi 2.

Berdasarkan jenisnya terdapat 3 jenis variabel yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir berikut, yaitu antara lain

3.5.1 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang bersifat tetap dan tidak berubah. Variabel kontrol pada tugas akhir ini adalah harga satuan pekerjaan *capping layer* sesuai *Bill of Quantity (BOQ)* atau yang tercantum pada kontrak Proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang Seksi 2 dan spesifikasi mutu untuk pekerjaan *capping layer* pada lapis perkerasan jalan sesuai dengan aturan yang berlaku atau disepakati pada proyek.

3.5.2 Variabel Bebas

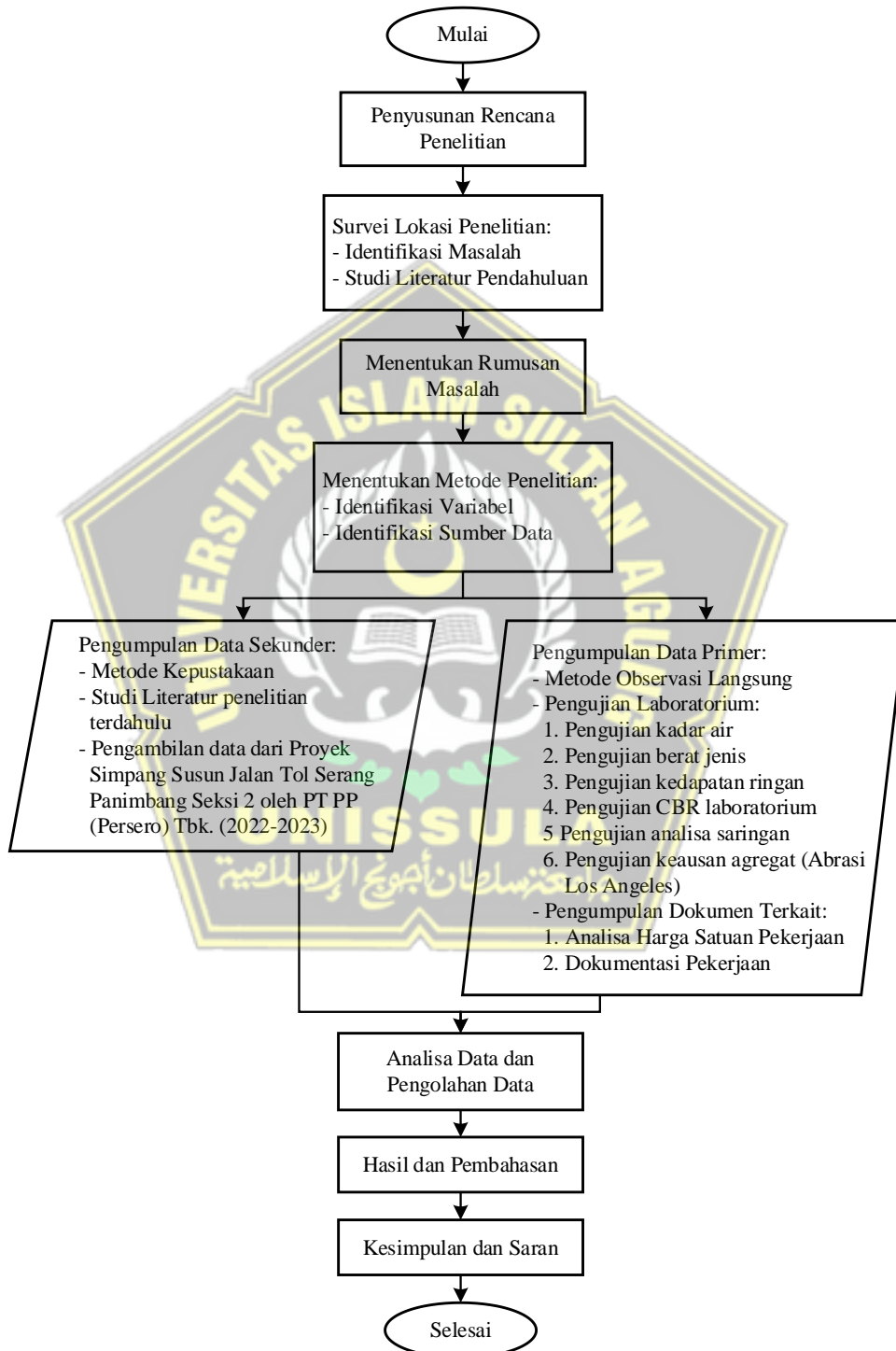
Variabel bebas merupakan variabel yang sifatnya tidak tetap dan dapat mempengaruhi variabel lain. Pada penelitian ini terdapat 2 variabel bebas yaitu penggunaan material *steel slag* dan penggunaan material berbutir kelas B.

3.5.3 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dapat berubah akibat pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat pada tugas akhir ini adalah harga satuan pekerjaan *capping layer* dengan menggunakan material *steel slag* ataupun material berbutir kelas B dan hasil pengujian mutu kualitas material di laboratorium serta lapangan pada Proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang Seksi 2.

3.6 Bagan Alir

Urutan kegiatan penelitian mengenai material limbah produksi besi (*steel slag*) sebagai material pengganti *capping layer* pada Proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang Seksi 2.



Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pelaksanaan Pekerjaan *Capping Layer*

4.1.1 Urutan Pekerjaan *Capping Layer*

- a. Pekerjaan persiapan tanah dasar;
- b. Pekerjaan pemasangan *geotextile*;
- c. Pengukuran dan *stake out*;
- d. Pendetangan material;
- e. Penghamparan;
- f. Pemadatan material; dan
- g. Pengetesan kepadatan material.

4.1.2 Metode Pelaksanaan Pekerjaan *Capping Layer*

Dalam pelaksanaan pekerjaan *capping layer* diperlukan beberapa tahapan pada pelaksanaannya, yaitu sebagai berikut:

A. Pekerjaan Persiapan

Pemilihan material *capping layer* sangat penting dalam pelaksanaan pekerjaan ini. Sebelum pelaksanaan diperlukan tes material meliputi tes laboratorium dan tes pemadatan di lapangan. Pengetesan dilakukan karena apabila material yang dipilih bagus dan sesuai dengan spesifikasi maka kepadatan lapis pondasi yang didapat juga akan bagus. Material *capping layer* menggunakan material dengan $CBR > 15\%$.

Pekerjaan persiapan lainnya adalah pembersihan tempat kerja dari kotoran, sampah, dsb.

B. Persiapan Tanah Dasar

Apabila timbunan atau galian tanah sudah mencapai elevasi rencana maka pekerjaan selanjutnya yang dilakukan adalah persiapan tanah dasar. Pekerjaan persiapan tanah dasar meliputi pekerjaan pembentukan badan jalan yang sesuai dengan elevasi dan kemiringan rencana jalan. Dilakukan juga tes kepadatan tanah dasar berupa tes *proofrolling* dan tes CBR lapangan dengan nilai CBR minimum 6%.

C. Pengukuran dan *Stake Out*

Setelah pekerjaan persiapan tanah dasar, maka selanjutnya adalah pekerjaan pengukuran yang dilakukan *surveyor* untuk mengetahui elevasi dan pemasangan *stake out* sebagai tebal acuan pada saat penghamparan material *capping layer*.

D. Pendetangan Material

Setelah dilakukan pemilihan material dan *approval material* sudah disetujui oleh pemilik proyek serta lahan untuk pekerjaan *Capping Layer* sudah siap, maka dilakukan pendetangan material ke lokasi proyek. Pendetangan material *capping layer* dilakukan secara bertahap sesuai kebutuhan di lapangan berdasarkan lahan yang sudah siap. Material *capping layer* diletakkan di dekat lokasi pekerjaan sehingga mempermudah proses penghamparan (tidak terjadi *double handling*).

E. Penghamparan Material

Perataan dan penghamparan material dilakukan dengan menggunakan bantuan alat *motor grader*. Elevasi dan kemiringan *capping layer* harus sesuai dengan *shop drawing*. Material kemudian disiram air menggunakan *water tank* untuk menjaga kadar air tetap optimal selama proses pemadatan yang akan dilakukan.

F. Pemadatan Material

Setelah *capping layer* dihamparkan oleh *motor grader* dan disiram dengan *water tank* kemudian dilakukan pemadatan dengan menggunakan *vibro roller* sampai didapatkan kepadatan minimum 100%. Jumlah lintasan alat pemadatan (*vibro roller*) disesuaikan dengan tes pemadatan (*trial compaction*) yang telah dilakukan sebelumnya. Selama pemadatan, sekelompok pekerja akan merapikan tepi hamparan dan menyesuaikan level permukaan dengan alat bantu. Lapisan agregat disiram air secara berkala menggunakan *water tank* untuk menjaga kondisi yang optimal hingga pekerjaan selanjutnya pada lapis pondasi agregat dapat dilanjutkan.

G. Pengetesan

Setelah pemadatan selesai dilakukan pengukuran akhir elevasi top *capping layer* sesuai elevasi rencana dan pengetesan kepadatan dengan tes *sand cone* dan *proofrolling* sesuai dengan spesifikasi yang telah di tentukan.

4.2 Hasil Pengujian Laboratorium Material Berbutir Kelas B

Sebelum melakukan pendatangan material dan pekerjaan di lapangan, perlu dilakukan pengujian *properties* pada material berbutir kelas B yang akan digunakan. Adapun pengujian *properties* material yang dilakukan antara lain sebagai berikut,



Gambar 4. 1 Gambar Material Agregat Kelas B *Quarry* Bojonegara

4.2.1 Pengujian Kadar Air Tanah

Dalam pengujian kadar air pada material ini, digunakan 2 (dua) buah sampel benda uji seberat ± 500 gr dengan penggunaan sampel dari Bojonegara. Kedua benda uji tersebut selanjutnya ditimbang dalam 2 (dua) kondisi yaitu basah dan kering seperti pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Detail Berat Benda Uji Kadar Air Tanah Material Berbutir

Pengujian	Notasi	Satuan	Benda Uji	
			1	2
Berat cawan + tanah basah	W ₁	gr	700,75	697,75
Berat cawan + tanah kering	W ₂	gr	663,00	658,00
Berat cawan	W ₃	gr	69,75	69,75

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.1 selanjutnya data tersebut diolah dengan menggunakan Persamaan 2.1 untuk mendapatkan nilai kadar air pada material berbutir kelas B seperti pada Tabel 4.2. pada sampel benda uji 1 didapatkan nilai kadar air sebesar 6,36% dan sampel benda uji 2 sebesar 6,76% sehingga didapatkan rata-rata hasil kadar air untuk material berbutir kelas B dari *Quarry* Bojonegara tersebut sebesar 6,56 %.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Benda Uji Kadar Air Tanah Material Berbutir

Perhitungan	Rumus	Satuan	Benda Uji	
			1	2
Berat air	$W_1 - W_2$	gr	37,75	39,75
Berat tanah kering	$W_2 - W_3$	gr	593,25	588,25
Kadar air	$\frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\%$	%	6,36	6,76
Kadar air rata-rata		%	6,56	

4.2.2 Pengujian Berat Jenis Tanah

Untuk melakukan pengujian berat jenis tanah ini, digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 100 gr dengan penggunaan *sample* dari Bojonegara. Kedua sampel tersebut selanjutnya ditimbang bersama dengan piknometer pada suhu 26°C sehingga didapatkan data seperti tercantum pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Detail Berat Benda Uji Berat Jenis Tanah Material Berbutir

Pengujian	Notasi	Satuan	Benda Uji	
			1	2
Berat piknometer	W_1	gr	38,98	39,93
Berat piknometer + benda uji	W_2	gr	69,45	70,01
Temperatur	-	°C	26	
Berat piknometer + air pada temperatur 26°C	W_3	gr	158,03	158,61
Berat piknometer + benda uji + air pada temperatur 26°C	W_4	gr	138,91	139,78

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.3 selanjutnya data tersebut diolah dengan menggunakan Persamaan 2.2 untuk mendapatkan nilai berat jenis material berbutir kelas B seperti pada Tabel 4.4. Pada sampel benda uji 1 didapatkan nilai berat jenis material sebesar 2,685 dan sampel benda uji 2 sebesar 2,674 sehingga didapatkan rata-rata hasil kadar air untuk material berbutir kelas B dari *Quarry* Bojonegara tersebut sebesar 2,679

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Benda Uji Berat Jenis Tanah Material Berbutir

Perhitungan	Notasi	Rumus	Benda Uji	
			1	2
Berat benda uji	W_1	$W_2 - W_1$	30,47	30,08
	W_3	$W_1 + W_4$	169,38	169,86
Isi benda uji	-	$W_5 - W_3$	11,35	11,25
Berat jenis	G_s	$\frac{W_t}{W_5 - W_3}$	2,685	2,674
Rata-rata berat jenis	G_s		2,679	

4.2.3 Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pada pengujian ini digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 8000 gr dengan penggunaan sampel dari Bojonegara.

Tabel 4.5 Detail Berat Benda Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	Satuan	Benda Uji	
			1	2
Berat benda uji kering oven	A	gr	8015	8020
Berat benda uji jenuh kering permukaan udara	B	gr	8201	8243
Berat benda uji dalam air	C	gr	4945	4963

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.5 selanjutnya data tersebut diolah untuk mendapatkan nilai penyerapan air pada material berbutir kelas B seperti pada Tabel 4.6. Hasil dari sampel benda uji 1 didapatkan nilai penyerapan air pada material berbutir kelas B sebesar 2,321% dan sampel benda uji 2 sebesar

2,781% sehingga didapatkan rata-rata hasil kadar air untuk material berbutir kelas B dari *Quarry* Bojonegara tersebut sebesar 2,551%.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Benda Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Perhitungan	Rumus	Benda Uji		Rata-rata
		1	2	
Berat jenis curah kering (S_d)	$\frac{A}{(B - C)}$	2,462	2,445	2,453
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{B}{(B - C)}$	2,519	2,513	2,516
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{(A - C)}$	2,611	2,623	2,617
Penyerapan air (S_w)	$\left[\frac{B - A}{A}\right] \times 100\%$	2,321%	2,781%	2,551%

4.2.4 Pengujian Analisa Saringan Agregat

Digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 20000 gr dengan penggunaan *sample* dari Bojonegara. Sampel tersebut diuji dengan menggunakan saringan dengan susunan ukuran seperti Tabel 4.7 dan 4.8

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Benda Uji 1 Analisa Saringan Agregat

Saringan	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan (%)	Kumulatif	
			Berat Tertahan (%)	Berat Lolos (%)
75,0 (3")	0,00	0,00	0,00	100,00
63,0 (2½")	0,00	0,00	0,00	100,00
50,0 (2")	0,00	0,00	0,00	100,00
37,5 (1½")	4498,00	22,26	22,26	77,74
25,0 (1")	4097,00	20,28	42,54	57,46
19,0 (¾")	2415,00	11,95	54,50	45,50
12,5 (1/2")	3013,00	14,91	69,41	30,59
9,5 (3/8")	1352,00	6,69	76,10	23,90
4,75 (No. 4)	1446,00	7,16	83,26	26,74
2,36 (No. 8)	806,00	3,99	87,25	12,75
1,18 (No. 16)	470,00	2,33	89,58	10,42
0,60 (No. 30)	339,00	1,68	91,25	8,75
0,30 (No. 50)	411,00	2,03	93,29	6,71
0,15 (No. 100)	351,00	1,74	95,03	4,97
0,075 (No. 200)	207,00	1,02	96,05	3,95
Pan	798,00	3,95	100,00	0,00
Jumlah	20203,00	100,00		

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Benda Uji 2 Analisa Saringan Agregat

Saringan	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan (%)	Kumulatif	
			Berat Tertahan (%)	Berat Lolos (%)
75,0 (3")	0,00	0,00	0,00	100,00
63,0 (2½")	0,00	0,00	0,00	100,00
50,0 (2")	0,00	0,00	0,00	100,00
37,5 (1½")	4309,00	21,33	21,33	78,67
25,0 (1")	3540,00	17,52	38,86	61,14
19,0 (¾")	2955,00	14,63	53,49	46,51
12,5 (1/2")	3015,00	14,93	68,41	31,59
9,5 (3/8")	1230,00	6,09	74,50	25,50
4,75 (No. 4)	1500,00	7,43	81,93	18,07
2,36 (No. 8)	833,00	4,12	86,05	13,95
1,18 (No. 16)	432,00	2,14	88,19	11,81
0,60 (No. 30)	301,00	1,49	89,68	10,32
0,30 (No. 50)	410,00	2,03	91,71	8,29
0,15 (No. 100)	421,00	2,08	93,79	6,21
0,075 (No. 200)	157,00	0,78	94,57	5,43
Pan	1097,00	5,43	100,00	0,00
Jumlah	20200,00	100,00		

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.7 dan 4.8 tersebut selanjutnya diakumulasikan dan diambil rata-rata seperti pada Tabel 4.9 berikut

Tabel 4.9 Hasil Kumulatif Benda Uji Analisa Saringan Agregat

Saringan	Kumulatif Berat Lolos (%)		
	Berat Tertahan (%)	Berat Lolos (%)	Rata-rata
75,0 (3")	100,00	100,00	100,00
63,0 (2½")	100,00	100,00	100,00
50,0 (2")	100,00	100,00	100,00
37,5 (1½")	77,74	78,67	78,20
25,0 (1")	57,46	61,14	59,30
19,0 (¾")	45,50	46,51	46,01
12,5 (1/2")	30,59	31,59	31,09
9,5 (3/8")	23,90	25,50	24,70
4,75 (No. 4)	26,74	18,07	17,41
2,36 (No. 8)	12,75	13,95	13,35
1,18 (No. 16)	10,42	11,81	11,12
0,60 (No. 30)	8,75	10,32	9,53
0,30 (No. 50)	6,71	8,29	7,50
0,15 (No. 100)	4,97	6,21	5,59
0,075 (No. 200)	3,95	5,43	4,69
Pan	0,00	0,00	0,00

4.2.5 Pengujian Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 μ m (No. 200) dalam Agregat dengan Pencucian

Dalam pengujian kadar lumpur pada material ini, digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 5000 gr dengan penggunaan *sample* dari Bojonegara. Kedua sampel tersebut selanjutnya ditimbang dalam 2 kondisi, yakni setelah dilakukan pencucian dan sebelum dilakukan pencucian. Hasil dari pengambilan data tersebut tercantum pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Detail Benda Uji Kadar Lumpur (Saringan 75 μ m) dalam Agregat dengan Pencucian

Pengujian	Notasi	Satuan	Benda Uji	
			1	2
Berat wadah + benda uji kering (sebelum pencucian)	W_1	gr	5221	5250
Berat wadah	W_2	gr	206	227
Berat wadah + benda uji kering (setelah pencucian)	W_3	gr	4995	5030

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.10 selanjutnya data tersebut diolah dengan menggunakan Persamaan 2.9 sampai dengan 2.11 untuk mendapatkan nilai kadar lumpur pada material berbutir kelas B seperti pada Tabel 4.11. Hasil dari sampel benda uji 1 didapatkan kadar lumpur pada material berbutir kelas B sebesar 4,51% dan sampel benda uji 2 sebesar 4,38% sehingga didapatkan rata-rata hasil kadar lumpur pada material berbutir kelas B dari *Quarry* Bojonegara tersebut sebesar 4,44%.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 μ m (No. 200) dalam Agregat dengan Pencucian

Perhitungan	Rumus	Benda Uji		Rata-rata
		1	2	
Berat benda uji kering (sebelum pencucian)	$W_4 = W_1 - W_2$	5015	5023	5019
Berat benda uji kering (setelah pencucian)	$W_5 = W_3 - W_2$	4789	4803	4796
Kadar lumpur	$W_6 = \left[\frac{W_4 - W_5}{W_5} \right] \times 100\%$	4,51%	4,38%	4,44%

4.2.6 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Untuk pengujian keausan agregat dengan Mesin *Los Angeles* ini, digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 5000 gr dengan penggunaan sampel dari Bojonegara. 2 sampel tersebut masing-masing terdiri atas 2500 gr lolos saringan 3/4'' tertahan saringan 1/2'' dan 2500 gr lolos saringan 1/2'' tertahan saringan 3/8'' seperti pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Detail Benda Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Gradasi Pemeriksaan		Notasi	Satuan	Jumlah Putaran = 500	
Ukuran Saringan				Benda Uji	
Lolos	Tertahan			1	2
19,0 (3/4'')	12,5 (1/2'')	-	gr	2500	2500
12,5 (1/2'')	9,5 (3/8'')	-	gr	2500	2500
Jumlah berat		W ₁	gr	5000	5000
Berat benda uji tertahan saringan 12 sesudah percobaan		W ₂	gr	3686	3638

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.12 selanjutnya data tersebut diolah untuk mendapatkan nilai keausan agregat pada material berbutir kelas B seperti pada Tabel 4.13. Hasil dari sampel benda uji 1 didapatkan nilai keausan material berbutir kelas B sebesar 26,28% dan sampel benda uji 2 sebesar 27,24% sehingga didapatkan rata-rata hasil nilai keausan pada material berbutir kelas B dari *Quarry* Bojonegara tersebut sebesar 26,76%.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Perhitungan	Rumus	Benda Uji		Rata-rata
		1	2	
Keausan	$\left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right) \times 100\%$	26,28%	27,24%	26,76%

4.2.7 Pengujian Kepadatan Berat Tanah

Untuk pengujian kepadatan berat tanah pada material berbutir kelas B ini, digunakan 5 (lima) buah benda uji seberat ± 25000 gr dengan penggunaan *sample* dari Bojonegara. Seperti pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Detail dan Hasil Pengujian Kepadatan Berat Tanah

Kepadatan	Benda Uji				
	1	2	3	4	5
Massa tanah basah + cetakan (gr)	3673,00	3762,00	3816,00	3815,00	3780,00
Massa cetakan (gr)	1679,00	1679,00	1679,00	1679,00	1679,00
Massa tanah basah (gr)	1994,00	2083,00	2137,00	2136,00	2101,00
Isi cetakan (cm ³)	936,21	936,21	936,21	936,21	936,21
Kepadatan basah (gr/cm ³)	2,13	2,22	2,28	2,28	2,24
Kepadatan kering (gr/cm ³)	1,99	2,05	2,08	2,05	2,00
Kadar Air					
Massa tanah basah + cawan (gr)	772,00	731,00	742,00	745,00	750,00
Massa tanah kering + cawan (gr)	727,00	679,00	682,00	678,00	675,00
Massa air (gr)	45,00	52,00	60,00	67,00	75,00
Massa cawan (gr)	69,00	70,00	71,00	73,00	72,00
Massa tanah kering (gr)	658,00	611,00	611,00	605,00	603,00
Kadar air (%)	6,84	9,82	9,82	11,07	12,44

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.14 selanjutnya data tersebut diolah sehingga mendapatkan nilai :

Berat jenis = 2,679
 Kadar air optimum = 10,00%
 Kepadatan kering maksimum = 2,08 gr/cm³

4.2.8 Pengujian CBR Laboratorium

Pada Pengujian CBR Laboratorium ini, digunakan 3 (tiga) buah benda uji seberat ±21000 gr dengan penggunaan *sample* dari Bojonegara. Adapun 3 (tiga) sampel tersebut dibedakan berdasarkan jumlah tumbukan yang dilakukan pada masing-masing sampel yaitu 10 tumbukan, 30 tumbukan dan yang terakhir 65 tumbukan.

a. Pada 10 tumbukan

Tabel 4.15 Pembacaan Dial pada 10 Tumbukan

<i>Time</i> (menit)	<i>Penetration</i> (inch)	<i>Read of Dial</i> (indicator)	<i>Load</i> (lbs)
00:00	0	0,0	0,0
00:15	0,013	26,0	119,6
00:30	0,025	52,0	239,2
01:00	0,054	104,0	478,5
01:30	0,075	157,0	722,3
02:00	0,10	210,0	966,1
03:00	0,15	276,0	1269,7
04:00	0,20	304,0	1398,6
06:00	0,30	317,0	1458,4
08:00	0,40	329,0	1513,6
10:00	0,50	335,0	1541,2

Tabel 4.16 Kadar Air pada 10 Tumbukan

No.	<i>Container No.</i>		
1	<i>Wt. Container + Wet Sample</i>	grm.	789
2	<i>Wt. Container + Dry Sample</i>	grm.	704
3	<i>Wt. of Water</i>	grm.	85,00
4	<i>Wt. of Container</i>	grm.	70
5	<i>Wt. of Dry Sample</i>	grm.	634
6	<i>Moisture Content</i>	%	13,41

Tabel 4.17 Kepadatan pada 10 Tumbukan

No.	<i>Container No.</i>		
1	<i>Wt. Mold + Wet Sample</i>	grm.	8199
2	<i>Wt. of Mold</i>	grm.	3709
3	<i>Wt. of wet sample</i>	grm.	4490
4	<i>Moisture content</i>	%	13,41
5	<i>Wt. of Dry Sample</i>	grm.	3959
6	<i>Vol. of Mold</i>	cm ³	2144
7	<i>Dry Density</i>	gr/cm ³	1,847

b. Pada 30 tumbukan

Tabel 4.18 Pembacaan Dial pada 30 Tumbukan

<i>Time</i>	<i>Penetration</i>	<i>Read of Dial</i>	<i>Load (lbs)</i>
(menit)	(inch)	(indicator)	
00:00	0	0,0	0
00:15	0,013	27,0	124,2
00:30	0,025	55,0	253,0
01:00	0,050	111,0	510,7
01:30	0,075	166,0	763,7
02:00	0,10	221,0	1016,7
03:00	0,15	295,0	1357,1
04:00	0,20	320,0	1472,2
06:00	0,30	344,0	1582,6
08:00	0,40	363,0	1670,0
10:00	0,50	371,0	1706,8

Tabel 4.19 Kadar Air pada 30 Tumbukan

No.	<i>Container No.</i>		
1	<i>Wt. Container + Wet Sample</i>	grm.	791
2	<i>Wt. Container + Dry Sample</i>	grm.	719
3	<i>Wt. of Water</i>	grm.	72,00
4	<i>Wt. of Container</i>	grm.	70
5	<i>Wt. of Dry Sample</i>	grm.	649
6	<i>Moisture Content</i>	%	11,09

Tabel 4.20 Kepadatan pada 30 Tumbukan

No.	<i>Container No.</i>		
1	<i>Wt. Mold + Wet Sample</i>	grm.	8599
2	<i>Wt. of Mold</i>	grm.	3888
3	<i>Wt. of wet sample</i>	grm.	4711
4	<i>Moisture content</i>	%	11,09
5	<i>Wt. of Dry Sample</i>	grm.	4241
6	<i>Vol. of Mold</i>	cm ³	2141
7	<i>Dry Density</i>	gr/cm ³	1,981

c. Pada 65 tumbukan

Tabel 4.21 Pembacaan Dial pada 65 Tumbukan

<i>Time</i>	<i>Penetration</i>	<i>Read of Dial</i> <i>(indicator)</i>	<i>Load (lbs)</i>
<i>(menit)</i>	<i>(inch)</i>		
00:00	0	0,0	0
00:15	0,013	30,0	124,2
00:30	0,025	63,0	253,0
01:00	0,050	126,0	510,7
01:30	0,075	192,0	763,7
02:00	0,10	255,0	1016,7
03:00	0,15	343,0	1357,1
04:00	0,20	378,0	1472,2
06:00	0,30	411,0	1582,6
08:00	0,40	435,0	1670,0
10:00	0,50	458,0	1706,8

Tabel 4.22 Kadar Air pada 65 Tumbukan

No.	<i>Container No.</i>		
1	<i>Wt. Container + Wet Sample</i>	grm.	792
2	<i>Wt. Container + Dry Sample</i>	grm.	721
3	<i>Wt. of Water</i>	grm.	71,00
4	<i>Wt. of Container</i>	grm.	71
5	<i>Wt. of Dry Sample</i>	grm.	650
6	<i>Moisture Content</i>	%	10,92

Tabel 4.23 Kepadatan pada 65 Tumbukan

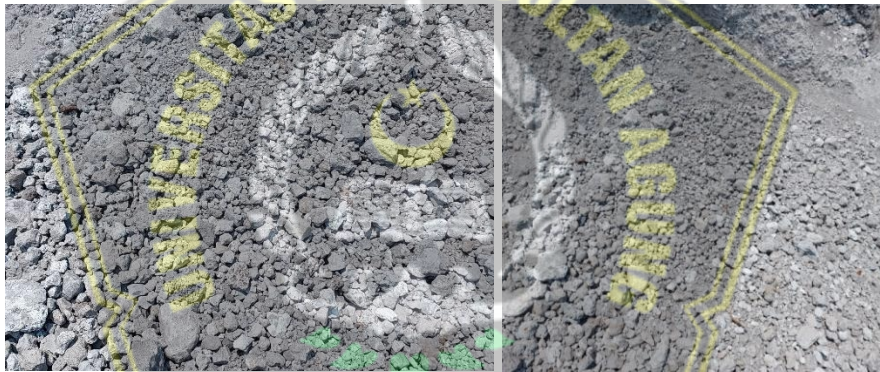
No.	<i>Container No.</i>		
1	<i>Wt. Mold + Wet Sample</i>	grm.	8752
2	<i>Wt. of Mold</i>	grm.	3877
3	<i>Wt. of wet sample</i>	grm.	4875
4	<i>Moisture content</i>	%	10,92
5	<i>Wt. of Dry Sample</i>	grm.	4395
6	<i>Vol. of Mold</i>	cm ³	2131
7	<i>Dry Density</i>	gr/cm ³	2,062

Dari hasil pengujian pada 3 (tiga) sampel tersebut dari Tabel 4.15 sampai dengan Tabel 4.23 tersebut, didapatkan nilai :

Kadar air optimum	= 10,00%
Kepadatan kering maksimum	= 2,08 gr/cm ³
Kepadatan kering desain	= 1,97 gr/cm ³
CBR desain	= 33,00%

4.3 Hasil Pengujian Laboratorium Material *Steel Slag*

Sama halnya seperti material berbutir kelas B, sebelum melakukan pendatangan material *Steel Slag* dan pekerjaan di lapangan, perlu dilakukan pengujian *properties* pada material yang akan digunakan. Adapun pengujian *properties* material yang dilakukan sama seperti yang dilakukan pada material berbutir kelas B antara lain sebagai berikut,



Gambar 4. 2 Material *Steel Slag* dari PT Krakatau Steel

4.3.1 Pengujian Kadar Air Tanah

Dalam pengujian kadar air pada material ini, digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 200 gr dengan penggunaan sampel dari PT Krakatau Posco. Kedua benda uji tersebut selanjutnya ditimbang dalam 2 (dua) kondisi yaitu basah dan kering seperti pada Tabel 4.24 berikut

Tabel 4.24 Detail Berat Benda Uji Kadar Air Tanah Material *Steel Slag*

Pengujian	Notasi	Satuan	Benda Uji	
			1	2
Berat cawan + tanah basah	W ₁	gr	771	779
Berat cawan + tanah kering	W ₂	gr	748	757
Berat cawan	W ₃	gr	71	72

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.24 selanjutnya data tersebut diolah dengan menggunakan Persamaan 2.1 untuk mendapatkan nilai kadar air pada material *Steel slag* seperti pada Tabel 4.25. Pada sampel benda uji 1 didapatkan nilai kadar air sebesar 3,40% dan sampel benda uji 2 sebesar 3,21% sehingga didapatkan rata-rata hasil kadar air untuk material berbutir kelas B dari *Quarry* PT Krakatau Posco tersebut sebesar 3,30%

Tabel 4.25 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah Material *Steel Slag*

Perhitungan	Rumus	Satuan	Benda Uji	
			1	2
Berat air	$W_1 - W_2$	gr	23	22
Berat tanah kering	$W_2 - W_3$	gr	677	685
Kadar air	$\frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\%$	%	3,40	3,21
Kadar air rata-rata		%	3,30	

4.3.2 Pengujian Berat Jenis Tanah

Untuk melakukan pengujian berat jenis tanah ini, digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 100 gr dengan penggunaan *sample* dari PT Krakatau Posco. Kedua sampel tersebut selanjutnya ditimbang bersama dengan piknometer pada suhu 26°C sehingga didapatkan data seperti tercantum pada Tabel 4.26

Tabel 4.26 Detail Benda Uji Berat Jenis Tanah

Pengujian	Notasi	Satuan	Benda Uji	
			1	2
Berat piknometer	W_1	gr	53,98	54,08
Berat piknometer + benda uji	W_2	gr	83,52	84,57
Temperatur	-	$^\circ\text{C}$	26	
Berat piknometer + air pada temperatur 26°C	W_3	gr	176,78	175,07
Berat piknometer + benda uji + air pada temperatur 26°C	W_4	gr	155,84	153,35

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.26 selanjutnya data tersebut diolah dengan menggunakan Persamaan 2.2 untuk mendapatkan nilai berat jenis material *Steel Slag* seperti pada Tabel 4.27. Pada sampel benda uji 1 didapatkan nilai berat jenis material sebesar 3,435 dan sampel benda uji 2 sebesar 3,477 sehingga didapatkan rata-rata hasil kadar air untuk material *Steel Slag* dari *Quarry* PT Krakatau Posco tersebut sebesar 3,456

Tabel 4.27 Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah

Perhitungan	Notasi	Rumus	Benda Uji	
			1	2
Berat benda uji	W_1	$W_2 - W_1$	29,54	30,49
	W_3	$W_1 + W_4$	185,38	183,84
Isi benda uji	-	$W_5 - W_3$	8,60	8,77
Berat jenis	G_s	$\frac{W_t}{W_5 - W_3}$	3,435	3,477
Rata-rata berat jenis	G_s		3,456	

4.3.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pada pengujian ini digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 8000 gr dengan penggunaan sampel dari PT Krakatau Posco.

Tabel 4.28 Detail Benda Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	Satuan	Benda Uji	
			1	2
Berat benda uji kering oven	A	gr	8000	8000
Berat benda uji jenuh kering permukaan udara	B	gr	8217	8216
Berat benda uji dalam air	C	gr	5647	5639

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.28 selanjutnya data tersebut diolah untuk mendapatkan nilai penyerapan air pada material *Steel Slag* seperti pada Tabel 4.29. Hasil dari sampel benda uji 1 didapatkan nilai penyerapan air pada material *Steel Slag* sebesar 2,71% dan sampel benda uji 2 sebesar 2,70% sehingga didapatkan rata-rata hasil kadar air untuk material *Steel Slag* dari *Quarry* PT Krakatau Posco tersebut sebesar 2,71%.

Tabel 4.29 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Perhitungan	Rumus	Benda Uji		Rata-rata
		1	2	
Berat jenis curah kering (S_d)	$\frac{A}{(B - C)}$	3,113	3,104	3,109
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{B}{(B - C)}$	3,197	3,188	3,193
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{(A - C)}$	3,400	3,388	3,394
Penyerapan air (S_w)	$\left[\frac{B - A}{A}\right] \times 100\%$	2,71%	2,70%	2,71%

4.3.4 Pengujian Analisa Saringan Agregat

Digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 40000 gr dengan penggunaan *sample* dari PT Krakatau Posco. Sampel tersebut diuji dengan menggunakan saringan dengan susunan ukuran seperti Tabel 4.30 dan 4.31

Tabel 4.30 Hasil Pengujian Benda Uji 1 Analisa Saringan Agregat

Saringan	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan (%)	Kumulatif	
			Berat Tertahan (%)	Berat Lolos (%)
75,0 (3")	0,00	0,00	0,00	100,00
63,0 (2½")	0,00	0,00	0,00	100,00
50,0 (2")	0,00	0,00	0,00	100,00
37,5 (1½")	2573	6,47	6,47	93,53
25,0 (1")	3927	9,88	16,35	83,65
19,0 (¾")	3599	9,05	25,40	74,60
12,5 (½")	5367	13,50	38,89	61,11
9,5 (¾")	3415	8,58	47,48	52,52
4,75 (No. 4)	6732	16,93	64,41	35,59
2,36 (No. 8)	5348	13,45	77,85	22,15
1,18 (No. 16)	3127	7,86	85,72	14,28
0,60 (No. 30)	2473	6,22	91,94	8,06
0,30 (No. 50)	1191	3,00	94,93	5,07
0,15 (No. 100)	799	2,01	96,94	3,06
0,075 (No. 200)	542	1,36	98,31	1,69
Pan	674	1,69	100,00	0,00
Jumlah	39765	100,00		

Tabel 4.31 Hasil Pengujian Benda Uji 2 Analisa Saringan Agregat

Saringan	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan (%)	Kumulatif	
			Berat Tertahan (%)	Berat Lolos (%)
75,0 (3")	0,00	0,00	0,00	100,00
63,0 (2½")	0,00	0,00	0,00	100,00
50,0 (2")	0,00	0,00	0,00	100,00
37,5 (1½")	2074	5,21	5,21	94,79
25,0 (1")	4191	10,52	15,73	84,27
19,0 (¾")	3244	8,14	23,87	76,13
12,5 (½")	5094	12,79	26,66	63,34
9,5 (¾")	3415	8,57	45,23	54,77
4,75 (No. 4)	69903	17,33	62,56	37,44
2,36 (No. 8)	5908	14,83	77,39	22,61
1,18 (No. 16)	3388	8,51	85,90	14,10
0,60 (No. 30)	2412	6,05	91,95	8,05
0,30 (No. 50)	1611	4,04	96,00	4,00
0,15 (No. 100)	655	1,64	97,64	2,36
0,075 (No. 200)	402	1,01	98,65	1,35
Pan	538	1,35	100,00	0,00
Jumlah	399835	100,00		

Dari hasil pengujian saringan material *steel slag* pada Tabel 4.30 dan 4.31 tersebut selanjutnya diakumulasikan dan diambil rata-rata seperti pada Tabel 4.32 berikut

Tabel 4. 32 Hasil Kumulatif Benda Uji Analisa Saringan Agregat

Saringan	Kumulatif Berat Lolos (%)		
	Berat Tertahan (%)	Berat Lolos (%)	Rata-rata
75,0 (3")	100,00	100,00	100,00
63,0 (2½")	100,00	100,00	100,00
50,0 (2")	100,00	100,00	100,00
37,5 (1½")	93,53	94,79	94,16
25,0 (1")	83,65	84,27	83,96
19,0 (¾")	74,60	76,13	75,37
12,5 (1/2")	61,11	63,34	62,22
9,5 (3/8")	52,52	54,77	53,65
4,75 (No. 4)	35,59	37,44	36,52
2,36 (No. 8)	22,15	22,61	22,38
1,18 (No. 16)	14,28	14,10	14,19
0,60 (No. 30)	8,06	8,05	8,06
0,30 (No. 50)	5,07	4,00	4,54
0,15 (No. 100)	3,06	2,36	2,71
0,075 (No. 200)	1,69	1,35	1,52
Pan	0,00	0,00	0,00

4.3.5 Pengujian Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75µm (No. 200) dalam Agregat dengan Pencucian

Dalam pengujian kadar lumpur pada material ini, digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ±5000 gr dengan penggunaan *sample* dari PT Krakatau Posco. Kedua sampel tersebut selanjutnya ditimbang dalam 2 kondisi, yakni setelah dilakukan pencucian dan sebelum dilakukan pencucian. Hasil dari pengambilan data tersebut tercantum pada Tabel 4.33

Tabel 4.33 Detail Benda Uji Kadar Lumpur (Saringan 75µm) dalam Agregat dengan Pencucian

Pengujian	Notasi	Satuan	Benda Uji	
			1	2
Berat wadah + benda uji kering (sebelum pencucian)	W ₁	gr	5230	5228
Berat wadah	W ₂	gr	230	228
Berat wadah + benda uji kering (setelah pencucian)	W ₃	gr	5169	5164

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.33 selanjutnya data tersebut diolah dengan menggunakan Persamaan 2.9 sampai dengan 2.11 untuk mendapatkan nilai kadar lumpur pada material *steel slag* seperti pada Tabel 4.34. Hasil dari sampel benda uji 1 didapatkan kadar lumpur pada material *steel slag* sebesar 1,22% dan sampel benda uji 2 sebesar 1,28% sehingga didapatkan rata-rata hasil kadar lumpur pada material *steel slag* dari *Quarry* PT Krakatau Posco tersebut sebesar 1,25%.

Tabel 4.34 Hasil Pengujian Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75 μ m (No. 200) dalam Agregat dengan Pencucian

Perhitungan	Rumus	Benda Uji		Rata-rata
		1	2	
Berat benda uji kering (sebelum pencucian)	$W_4 = W_1 - W_2$	5000	5000	5000
Berat benda uji kering (setelah pencucian)	$W_5 = W_3 - W_2$	4939	4836	4938
Kadar lumpur	$W_6 = \left[\frac{W_4 - W_5}{W_5} \right] \times 100\%$	1,22%	1,28%	1,25%

4.3.6 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Untuk pengujian keausan agregat dengan Mesin *Los Angeles* ini, digunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 5000 gr dengan penggunaan *sample* dari PT Krakatau Posco. 2 sampel tersebut masing-masing terdiri atas 2500 gr lolos saringan 3/4" tertahan saringan 1/2" dan 2500 gr lolos saringan 1/2" tertahan saringan 3/8" seperti pada Tabel 4.35

Tabel 4.35 Detail Benda Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Gradasi Pemeriksaan		Notasi	Satuan	Jumlah Putaran = 500	
Ukuran Saringan				Benda Uji	
Lolos	Tertahan			1	2
19,0 (3/4")	12,5 (1/2")	-	gr	2500	2500
12,5 (1/2")	9,5 (3/8")	-	gr	2500	2500
Jumlah berat		W ₁	gr	5000	5000
Berat benda uji tertahan saringan 12 sesudah percobaan		W ₂	gr	3972	3993

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.35 selanjutnya data tersebut diolah untuk mendapatkan nilai keausan agregat pada material *steel slag* seperti pada Tabel 4.36. Hasil dari sampel benda uji 1 didapatkan nilai keausan material *steel slag* sebesar 20,56% dan sampel benda uji 2 sebesar 20,14% sehingga didapatkan rata-rata hasil nilai keausan pada material *steel slag* dari *Quarry* PT Krakatau Posco tersebut sebesar 20,35%.

Tabel 4.36 Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Perhitungan	Rumus	Benda Uji		Rata-rata
		1	2	
Keausan	$\left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right) \times 100\%$	20,56%	20,14%	20,35%

4.3.7 Pengujian Kepadatan Ringan Tanah

Untuk pengujian kepadatan berat tanah pada material *steel slag* ini, digunakan 5 (lima) buah benda uji seberat ± 25000 gr dengan penggunaan *sample* dari PT Krakatau Posco. Seperti pada Tabel 4.37

Tabel 4.37 Detail dan Hasil Pengujian Kepadatan Ringan Tanah

Kepadatan		Benda Uji				
		1	2	3	4	5
Massa tanah basah + cetakan	(gr)	4003,00	4133,00	4250,00	4240,00	4212,00
Massa cetakan	(gr)	1679,00	1679,00	1679,00	1679,00	1679,00
Massa tanah basah	(gr)	2324,00	2454,00	2571,00	2561,00	2533,00
Isi cetakan	(cm ³)	936,21	936,21	936,21	936,21	936,21
Kepadatan basah	(gr/cm ³)	2,48	2,62	2,75	2,74	2,71
Kepadatan kering	(gr/cm ³)	2,42	2,49	2,55	2,49	2,43
Kadar Air						
Massa tanah basah + cawan	(gr)	714,00	768,00	767,00	718,00	744,00
Massa tanah kering + cawan	(gr)	698,00	733,00	718,00	660,00	675,00
Massa air	(gr)	16,00	35,00	49,00	58,00	69,00
Massa cawan	(gr)	71,00	71,00	69,00	69,00	69,00
Massa tanah kering	(gr)	627,00	662,00	649,00	590,00	606,00
Kadar air	(%)	2,55	5,29	7,55	9,83	11,39

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.37 selanjutnya data tersebut diolah sehingga mendapatkan nilai :

Berat jenis = 3,456
 Kadar air optimum = 7,50%
 Kepadatan kering maksimum = 2,55 gr/cm³

4.3.8 Pengujian CBR Laboratorium

Pada Pengujian CBR Laboratorium ini, digunakan 3 (tiga) buah benda uji seberat ±35000 gr dengan penggunaan *sample* dari PT Krakatau Posco. Adapun 3 (tiga) sampel tersebut dibedakan berdasarkan jumlah tumbukan yang dilakukan pada masing-masing sampel yaitu 10 tumbukan, 30 tumbukan dan yang terakhir 65 tumbukan.

a. Pada 10 tumbukan

Tabel 4.38 Pembacaan Dial pada 10 Tumbukan

<i>Time</i> (menit)	<i>Penetration</i> (inch)	<i>Read of Dial</i> (indicator)	<i>Load</i> (lbs)
00:00	0	0,0	0,0
00:15	0,013	65,0	301,8
00:30	0,025	121,0	561,9
01:00	0,054	232,0	1077,3
01:30	0,075	334,0	1550,9
02:00	0,10	418,0	1940,9
03:00	0,15	521,0	2419,2
04:00	0,20	581,0	2697,8
06:00	0,30	651,0	3022,9
08:00	0,40	689,0	3199,3
10:00	0,50	697,0	3236,5

Tabel 4.39 Kadar Air pada 10 Tumbukan

No.	Container No.		
1	Wt. Container + Wet Sample	gm.	731
2	Wt. Container + Dry Sample	gm.	674
3	Wt. of Water	gm.	57,00
4	Wt. of Container	gm.	75
5	Wt. of Dry Sample	gm.	599
6	Moisture Content	%	9,52

Tabel 4. 40 Kepadatan pada 10 Tumbukan

No.	Container No.		
1	Wt. Mold + Wet Sample	gm.	9785
2	Wt. of Mold	gm.	4271
3	Wt. of wet sample	gm.	5514
4	Moisture content	%	9,52
5	Wt. of Dry Sample	gm.	5035
6	Vol. of Mold	cm ³	2096
7	Dry Density	gr/cm ³	2,402

b. Pada 30 tumbukan

Tabel 4.41 Pembacaan Dial pada 30 Tumbukan

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (lbs)
00:00	0	0,0	0
00:15	0,013	76,0	352,9
00:30	0,025	142,0	659,4
01:00	0,050	262,0	1216,6
01:30	0,075	364,0	2066,3
02:00	0,10	445,0	2553,9
03:00	0,15	550,0	2906,8
04:00	0,20	626,0	3445,4
06:00	0,30	742,0	3668,3
08:00	0,40	790,0	3668,3
10:00	0,50	809,0	3756,5

Tabel 4.42 Kadar Air pada 30 Tumbukan

No.	Container No.		
1	<i>Wt. Container + Wet Sample</i>	gm.	740
2	<i>Wt. Container + Dry Sample</i>	gm.	689
3	<i>Wt. of Water</i>	gm.	51,00
4	<i>Wt. of Container</i>	gm.	73
5	<i>Wt. of Dry Sample</i>	gm.	616
6	<i>Moisture Content</i>	%	8,28

Tabel 4.43 Kepadatan pada 30 Tumbukan

No.	Container No.		
1	<i>Wt. Mold + Wet Sample</i>	gm.	10080
2	<i>Wt. of Mold</i>	gm.	4271
3	<i>Wt. of wet sample</i>	gm.	5809
4	<i>Moisture content</i>	%	8,28
5	<i>Wt. of Dry Sample</i>	gm.	5365
6	<i>Vol. of Mold</i>	cm ³	2132
7	<i>Dry Density</i>	gr/cm ³	2,516

c. Pada 65 tumbukan

Tabel 4.44 Pembacaan Dial pada 65 Tumbukan

<i>Time</i> (menit)	<i>Penetration</i> (inch)	<i>Read of Dial</i> (indicator)	<i>Load (lbs)</i>
00:00	0	0,0	0
00:15	0,013	98,0	455,1
00:30	0,025	179,0	831,2
01:00	0,050	332,0	1541,6
01:30	0,075	450,0	2089,5
02:00	0,10	551,0	2558,5
03:00	0,15	703,0	3264,3
04:00	0,20	795,0	3691,5
06:00	0,30	895,0	4155,8
08:00	0,40	959,0	4453,0
10:00	0,50	1010,0	4689,8

Tabel 4.45 Kadar Air pada 65 Tumbukan

No.	Container No.		
1	<i>Wt. Container + Wet Sample</i>	grm.	721
2	<i>Wt. Container + Dry Sample</i>	grm.	675
3	<i>Wt. of Water</i>	grm.	46,00
4	<i>Wt. of Container</i>	grm.	69
5	<i>Wt. of Dry Sample</i>	grm.	606
6	<i>Moisture Content</i>	%	7,59

Tabel 4.46 Kepadatan pada 65 Tumbukan

No.	Container No.		
1	<i>Wt. Mold + Wet Sample</i>	grm.	10199
2	<i>Wt. of Mold</i>	grm.	4271
3	<i>Wt. of wet sample</i>	grm.	5928
4	<i>Moisture content</i>	%	7,59
5	<i>Wt. of Dry Sample</i>	grm.	5510
6	<i>Vol. of Mold</i>	cm ³	2136
7	<i>Dry Density</i>	gr/cm ³	2,579

Dari hasil pengujian pada 3 (tiga) sampel tersebut dari Tabel 4.38 sampai dengan Tabel 4.46 tersebut, didapatkan nilai :

Kadar air optimum = 7,50%

Kepadatan kering maksimum = 2,55 gr/cm³

Kepadatan kering desain = 2,43 gr/cm³

CBR desain = 67,00%

4.4 Hasil Pengujian Lapangan Material *Steel Slag*

Setelah dilakukan pendarangan material dan sebelum dilakukan pekerjaan dengan jumlah besar, perlu dilakukan *trial compaction*. *Trial compaction* ini bertujuan untuk menentukan jumlah *passing* alat berat dalam proses pemadatan yang optimal untuk mencapai kepadatan yang ditentukan dan menentukan nilai faktor *loose* material pada proses pemadatan. Dalam melakukan *trial compaction*, dilakukan 3 (tiga) sampel *trial* jumlah *passing* alat berat, yaitu 6 (enam) *passing*, 8 (delapan) *passing* dan 10 (sepuluh) *passing*.

Dari 3 (tiga) sampel tersebut dilakukan pengukuran ketebalan material saat dihampar yaitu setebal 33cm. Selain pengukuran ketebalan penghamparan,

dilakukan juga pengukuran elevasi sebelum pemadatan dan ketebalan saat setelah dilakukan pemadatan, untuk mendapatkan nilai faktor *loose*. Pada *trial compaction* material *steel slag* didapatkan data elevasi material saat dihamparkan dan setelah dipadatkan seperti Tabel 4.47. Sesuai Tabel 4.47 maka nilai faktor *loose* untuk material *steel slag* yaitu 4,64% ~ 5%.

Tabel 4. 47 Elevasi Penurunan *Trial Compaction* dan nilai faktor *loose*

Jumlah Passing	Elevasi hampar (m)	Elevasi Padat (m)	Deviasi / Penurunan (m)	faktor <i>loose</i> (%)
6 <i>Passing</i>	76.217	76.204	-0.013	3,93
8 <i>Passing</i>	75.996	75.979	-0.017	5,15
10 <i>Passing</i>	75.820	75.804	-0.016	4,84

Setelah dilakukan penghamparan dan pemadatan, material *steel slag* akan melewati proses pengujian di lapangan berupa pengujian CBR lapangan dan *sand cone* untuk mengetahui kepadatan material. Berikut merupakan hasil pengujian CBR lapangan dan *sand cone* material *steel slag*.

4.4.1 Pengujian CBR Lapangan

Pada Pengujian CBR lapangan terdapat beberapa jenis *Proving Ring*, namun untuk jenis *Proving Ring* yang digunakan untuk pengujian CBR lapangan di Proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang adalah *Proving Ring* dengan nilai 6000 lbf seperti pada Tabel 4.48

Tabel 4. 48 *Proving Ring* untuk Pengujian CBR Lapangan Setiap *Passing*

2000 lbf	Kalibrasi	10,87	lbf
6000 lbf	Kalibrasi	28,19	lbf
10.000 lbf	Kalibrasi	49,97	lbf

a. Pada 6 *Passing*

Pada pengujian CBR lapangan dengan percobaan 6 *passing* didapatkan hasil bacaan dial seperti pada tabel 4.49 berikut, di mana bacaan dial pada kondisi penurunan 0,1 in adalah 12 dan pada kondisi penurunan 0,2 in adalah 19.

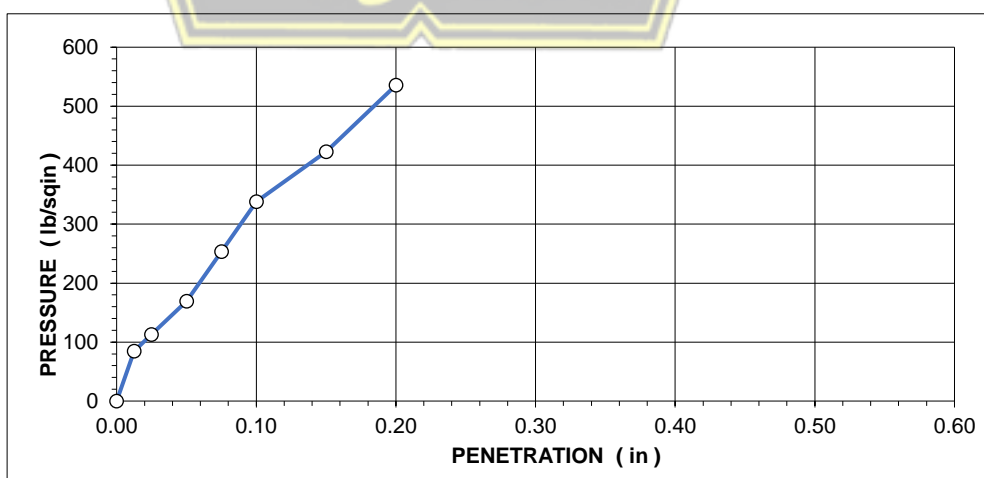
Tabel 4. 49 Pembacaan Dial *Passing* 6 Material *Steel Slag*

<i>Proving Ring</i>				
Waktu (Menit)	<i>Penetration</i> (inch)	Penurunan (mm)	<i>Dial Reading</i>	Tekanan (lb/sqin)
0	0,000	0,000	0	0,00
¼	0,013	0,312	3	84,6
½	0,025	0,620	4	112,8
1	0,050	1,250	6	169,1
1,5	0,075	1,870	9	253,7
2	0,100	2,540	12	338,3
3	0,150	3,750	15	422,8
4	0,200	5,000	19	535,6
6	0,300	7,500		
8	0,400	10,000		
10	0,500	12,500		

Dari data pada tabel 4.49 tersebut selanjutnya dapat dihitung nilai CBR lapangan seperti pada Tabel 4.50 di mana nilai CBR lapangan yang didapatkan dengan percobaan 6 *passing* adalah 11,59%. Nilai tersebut belum memenuhi nilai minimum CBR untuk *Capping Layer* yaitu >15%.

Tabel 4. 50 Nilai CBR Terkoreksi *Steel Slag* dengan 6 *Passing*

<i>Curve No.</i>	Penetrasi	Tekanan	CBR
	In	lbs/sq.in	%
1	0,10	338,3	11,28
	0,20	535,6	11,90
	Rerata		11,59



Gambar 4. 3 Grafik CBR Lapangan *Steel Slag* dengan 6 *Passing*

b. Pada 8 *Passing*

Pada pengujian CBR lapangan dengan percobaan 8 *passing* didapatkan hasil bacaan dial seperti pada tabel 4.51 berikut, di mana bacaan dial pada kondisi penurunan 0,1 in adalah 20 dan pada kondisi penurunan 0,2 in adalah 32.

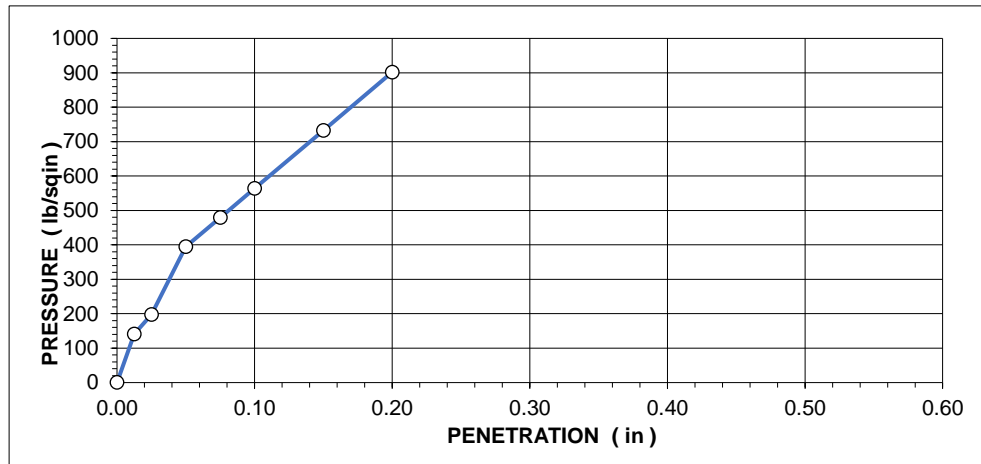
Tabel 4. 51 Pembacaan Dial *Passing* 8 Material *Steel Slag*

<i>Proving Ring</i>				
Waktu (Menit)	Penetration (inch)	Penurunan (mm)	Dial Reading	Tekanan (lb/sqin)
0	0,000	0,000	0	0,00
¼	0,013	0,312	5	140,9
½	0,025	0,620	7	197,3
1	0,050	1,250	14	394,6
1,5	0,075	1,870	17	479,2
2	0,100	2,540	20	563,8
3	0,150	3,750	26	732,9
4	0,200	5,000	32	902,0
6	0,300	7,500		
8	0,400	10,000		
10	0,500	12,500		

Dari data pada tabel 4.51 tersebut selanjutnya dapat dihitung nilai CBR lapangan seperti pada Tabel 4.52 di mana nilai CBR lapangan yang didapatkan dengan percobaan 8 *passing* adalah 19,42%. Nilai tersebut sudah memenuhi nilai minimum CBR untuk *Capping Layer* yaitu >15%.

Tabel 4. 52 Nilai CBR Terkoreksi *Steel Slag* dengan 8 *Passing*

<i>Curve No.</i>	Penetrasi	Tekanan	CBR
	in	lbs/sq.in	%
1	0,10	563,8	18,79
	0,20	902,0	20,04
	Rerata		19,42



Gambar 4. 4 Grafik CBR Lapangan *Steel Slag* dengan 8 *Passing*

c. Pada 10 *Passing*

Pada pengujian CBR lapangan dengan percobaan 10 *passing* didapatkan hasil bacaan dial seperti pada tabel 4.53 berikut, di mana bacaan dial pada kondisi penurunan 0,1 in adalah 24 dan pada kondisi penurunan 0,2 in adalah 38.

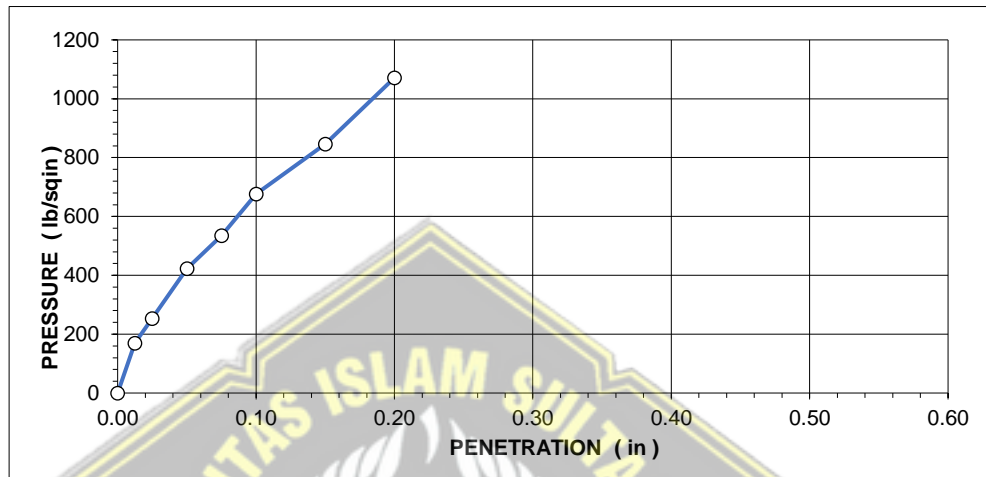
Tabel 4. 53 Pembacaan Dial *Passing* 10 Material *Steel Slag*

<i>Proving Ring</i>				
Waktu (Menit)	<i>Penetration</i> (inch)	Penurunan (mm)	<i>Dial Reading</i>	Tekanan (lb/sqin)
0	0,000	0,000	0	0,00
¼	0,013	0,312	6	169,1
½	0,025	0,620	9	253,7
1	0,050	1,250	15	422,8
1,5	0,075	1,870	19	535,6
2	0,100	2,540	24	676,5
3	0,150	3,750	30	845,6
4	0,200	5,000	38	1071,1
6	0,300	7,500		
8	0,400	10,000		
10	0,500	12,500		

Dari data pada tabel 4.53 tersebut selanjutnya dapat dihitung nilai CBR lapangan seperti pada Tabel 4.54 di mana nilai CBR lapangan yang didapatkan dengan percobaan 10 *passing* adalah 22,05%. Nilai tersebut sudah memenuhi nilai minimum CBR untuk *Capping Layer* yaitu >15%.

Tabel 4. 54 Nilai CBR Terkoreksi *Steel Slag* dengan 10 *Passing*

Curve No.	Penetrasi	Tekanan	CBR
	in	lbs/sq.in	%
1	0,10	676,5	20,30
	0,20	1071,1	23,80
	Rerata		22,05



Gambar 4. 5 Grafik CBR Lapangan *Steel Slag* dengan 10 *Passing*



4.4.2 Pengujian *Sand Cone*

Tabel 4. 55 Hasil Pengujian *Sand Cone Steel Slag*

No	Uraian	Satuan	10 Pass		8 Pass		6 Pass		
a	Berat botol + pasir (sebelum)	gr.	8291	7672	7724	7814	8044	8044	
b	Berat botol + pasir (sesudah)	gr.	3061	2751	2357	2614	2418	2301	
c	Berat pasir dalam lubang + corong	a-b	5230	4921	5367	5200	5626	5743	
d	Berat pasir dalam corong	Lab.	1811	1811	1811	1811	1811	1811	
e	Berat pasir dalam lubang	c-d	3419	3110	3556	3389	3815	3932	
f	Berat isi pasir	Lab.	1,505	1,505	1,505	1,505	1,505	1,505	
g	Volume lubang	e/f	2272	2066	2363	2252	2535	2613	
h	Kadar air	Speedy test	%	12,5	13,0	12,8	13,5	12,6	13,4

1	Berat contoh basah + wadah	gr.	6976	6028	6121	5944	6211	6422	
2	Berat wadah	gr.	12	12	12	12	12	12	
3	Berat contoh	1-2	6964	6016	6109	5932	6199	6410	
4	Berat isi basah $\hat{\rho} b$	3/g	3,065	2,911	2,586	2,634	2,445	2,453	
5	Berat isi kering $\hat{\rho} d$	4(1+m%)	2,725	2,576	2,292	2,321	2,172	2,164	
6	Maksimum berat isi kering	Lab.	2,550	2,550	2,550	2,550	2,550	2,550	
7	<i>Optimum moisture content</i>	Lab.	%	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	
8	Tertahan ayakan #4	%	48	46	47	48	49	46	
9	Lolos ayakan #4	%	52	54	53	52	51	54	
10	MDD koreksi	gr/cc.	2,360	2,335	2,347	2,360	2,372	2,335	
11	Derajat kepadatan yang diperlukan	%	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	
12	Derajat kepadatan	5/10*100	%	115,5	110,3	97,7	98,3	91,6	92,7

Dari data *sand cone* pada tabel 4.55 tersebut diketahui nilai kepadatan untuk pemadatan dengan percobaan 6 *passing* 91,6% dan 92,7% nilai tersebut belum memenuhi persyaratan kepadatan yaitu minimal 95%. Selanjutnya untuk percobaan 8 *passing* nilai kepadatannya didapatkan 97,7% dan 98,3% sedangkan untuk percobaan 10 *passing* nilai kepadatannya 110,3% dan 115,5% di mana nilai tersebut sudah memenuhi nilai minimal kepadatan yaitu 95%.

Dari hasil pengujian CBR lapangan dan *sand cone* pada material *steel slag* tersebut maka jumlah *passing* yang dapat digunakan untuk pemadatan *steel slag* adalah 8 *passing*.

4.5 Hasil Pengujian Lapangan Material Berbutir kelas B

Sama seperti material *steel slag*, material berbutir kelas B juga melewati proses *trial compaction* yang dilakukan dengan 3 (tiga) sampel *trial* jumlah *passing* alat berat, yaitu 6 (enam) *passing*, 8 (delapan) *passing* dan 10 (sepuluh) *passing*.

Dari 3 (tiga) sampel tersebut dilakukan pengukuran ketebalan material saat dihampar yaitu setebal 33cm. Pada *trial compaction* material material berbutir kelas B didapatkan data elevasi material saat dihamparkan dan setelah dipadatkan seperti Tabel 4.56. Sesuai Tabel 4.56 maka nilai faktor *loose* untuk material *steel slag* yaitu 8.08% ~ 10%

Tabel 4. 56 Elevasi Penurunan *Trial Compaction* dan nilai faktor *loose*

Jumlah Passing	Elevasi hampar (m)	Elevasi Padat (m)	Deviasi / Penurunan (m)	faktor <i>loose</i> (%)
6 <i>Passing</i>	31.923	31.901	-0.022	6.67
8 <i>Passing</i>	30.991	30.963	-0.028	8.48
10 <i>Passing</i>	30.211	30.181	-0.030	9.09

Setelah dilakukan penghamparan dan pemadatan, material berbutir kelas B akan melewati proses pengujian di lapangan berupa pengujian CBR lapangan dan *sand cone* untuk mengetahui kepadatan material. Berikut merupakan hasil pengujian CBR lapangan dan *sand cone* material berbutir kelas B.

4.5.1 Pengujian CBR Lapangan

Pada Pengujian CBR lapangan untuk material berbutir kelas B adalah *Proving Ring* yang sama dengan yang digunakan pada pengujian CBR lapangan pada material *steel slag* yaitu *Proving Ring* dengan nilai 6000 lbf seperti pada Tabel 4.48

a. Pada 6 *Passing*

Pada pengujian CBR lapangan dengan percobaan 6 *passing* didapatkan hasil bacaan dial seperti pada tabel 4.57 berikut, di mana bacaan dial pada kondisi penurunan 0,1 in adalah 11 dan pada kondisi penurunan 0,2 in adalah 18.

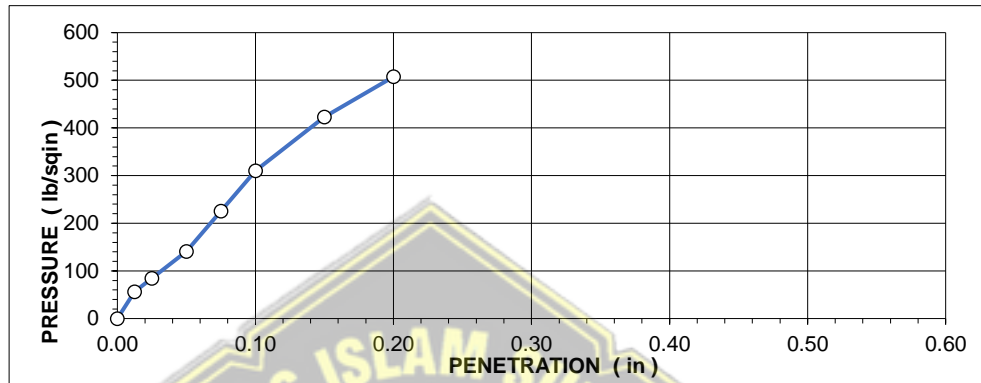
Tabel 4. 57 Pembacaan Dial *Passing* 6 Material Berbutir Kelas B

<i>Proving Ring</i>				
Waktu (Menit)	Penetration (inch)	Penurunan (mm)	Dial Reading	Tekanan (lb/sqin)
0	0,000	0,000	0	0.00
¼	0,013	0,312	2	56.38
½	0,025	0,620	3	84.56
1	0,050	1,250	5	140.94
1,5	0,075	1,870	8	225.50
2	0,100	2,540	11	310.07
3	0,150	3,750	15	422.82
4	0,200	5,000	18	507.38
6	0,300	7,500		
8	0,400	10,000		
10	0,500	12,500		

Dari data pada tabel 4.57 tersebut selanjutnya dapat dihitung nilai CBR lapangan seperti pada Tabel 4.58 di mana nilai CBR lapangan yang didapatkan dengan percobaan 6 *passing* adalah 10,81%. Nilai tersebut belum memenuhi nilai minimum CBR untuk *Capping Layer* yaitu >15%.

Tabel 4. 58 Nilai CBR Terkoreksi Material Berbutir Kelas B dengan 6 *Passing*

<i>Curve No.</i>	Penetrasi	Tekanan	CBR
	In	lbs/sq.in	%
1	0,10	310.07	10.34
	0,20	507.38	11.28
	Rerata		10.81



Gambar 4. 6 Grafik CBR Lapangan Material Berbutir Kelas B dengan 6 *Passing*

b. Pada 8 *Passing*

Pada pengujian CBR lapangan dengan percobaan 8 *passing* didapatkan hasil bacaan dial seperti pada tabel 4.59 berikut, di mana bacaan dial pada kondisi penurunan 0,1 in adalah 18 dan pada kondisi penurunan 0,2 in adalah 27.

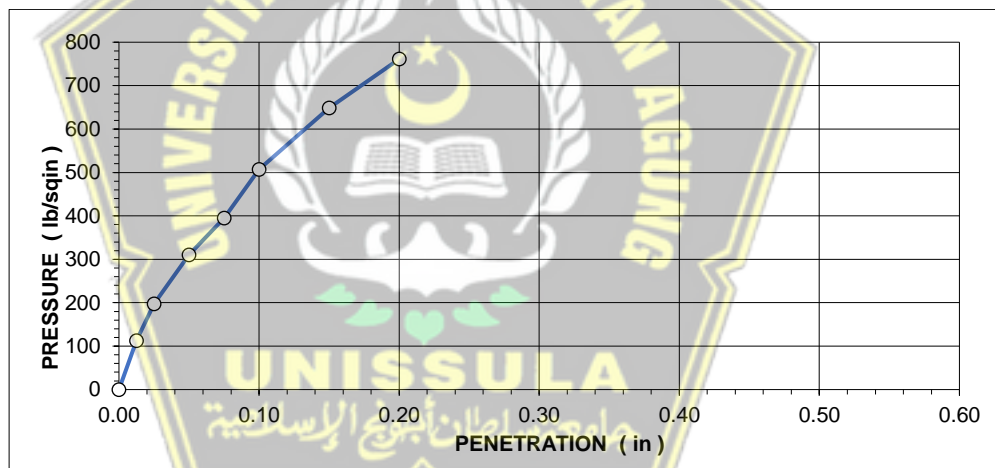
Tabel 4. 59 Pembacaan Dial *Passing* 8 Material Berbutir Kelas B

<i>Proving Ring</i>				
Waktu (Menit)	<i>Penetration</i> (inch)	Penurunan (mm)	<i>Dial Reading</i>	Tekanan (lb/sq.in)
0	0,000	0,000	0	0.00
¼	0,013	0,312	4	112.75
½	0,025	0,620	7	197.32
1	0,050	1,250	11	310.07
1,5	0,075	1,870	14	394.63
2	0,100	2,540	18	507.38
3	0,150	3,750	23	648.32
4	0,200	5,000	27	761.08
6	0,300	7,500		
8	0,400	10,000		
10	0,500	12,500		

Dari data pada tabel 4.59 tersebut selanjutnya dapat dihitung nilai CBR lapangan seperti pada Tabel 4.60 di mana nilai CBR lapangan yang didapatkan dengan percobaan 8 *passing* adalah 16,91%. Nilai tersebut sudah memenuhi nilai minimum CBR untuk *Capping Layer* yaitu >15%, namun nilainya hanya selisih sedikit dengan nilai CBR minimal yang disyaratkan, sehingga perlu dilakukan tambahan jumlah *passing* untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Tabel 4. 60 Nilai CBR Terkoreksi Material Berbutir Kelas B dengan 8 *Passing*

<i>Curve No.</i>	Penetrasi	Tekanan	CBR
	in	lbs/sq.in	%
1	0,10	507.38	16.91
	0,20	761.08	16.91
	Rerata		16.91



Gambar 4. 7 Grafik CBR Lapangan Material Berbutir Kelas B dengan 8 *Passing*

c. Pada 10 *Passing*

Pada pengujian CBR lapangan dengan percobaan 10 *passing* didapatkan hasil bacaan dial seperti pada tabel 4.61 berikut, di mana bacaan dial pada kondisi penurunan 0,1 in adalah 22 dan pada kondisi penurunan 0,2 in adalah 34.

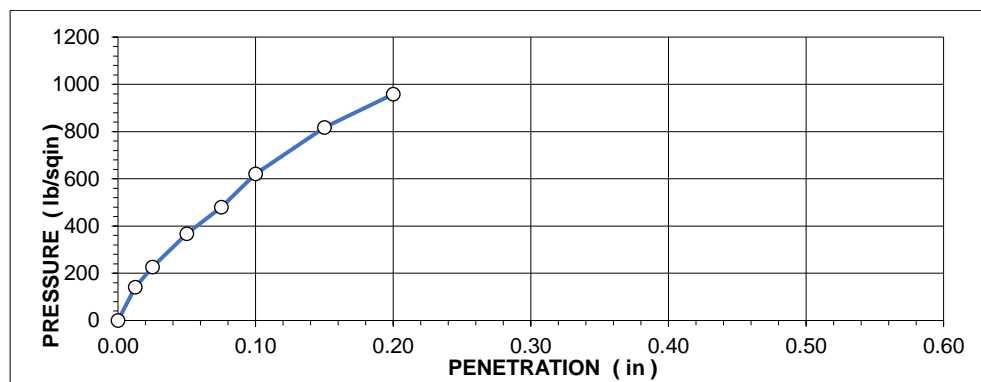
Tabel 4. 61 Pembacaan Dial *Passing* 10 Material Berbutir Kelas B

<i>Proving Ring</i>				
Waktu (Menit)	<i>Penetration</i> (inch)	Penurunan (mm)	<i>Dial Reading</i>	Tekanan (lb/sqin)
0	0,000	0,000	0	0.00
¼	0,013	0,312	5	140.94
½	0,025	0,620	8	225.50
1	0,050	1,250	13	366.44
1,5	0,075	1,870	17	479.20
2	0,100	2,540	22	620.14
3	0,150	3,750	29	817.45
4	0,200	5,000	34	958.39
6	0,300	7,500		
8	0,400	10,000		
10	0,500	12,500		

Dari data pada tabel 4.61 tersebut selanjutnya dapat dihitung nilai CBR lapangan seperti pada Tabel 4.62 di mana nilai CBR lapangan yang didapatkan dengan percobaan 8 *passing* adalah 20.98%. Nilai tersebut sudah memenuhi nilai minimum CBR untuk *Capping Layer* yaitu >15%.

Tabel 4. 62 Nilai CBR Terkoreksi Material Berbutir Kelas B dengan 10 *Passing*

<i>Curve No.</i>	Penetrasi	Tekanan	CBR
	in	lbs/sq.in	%
1	0,10	620.14	20,67
	0,20	958.39	21.3
	Rerata		20.98



Gambar 4. 8 Grafik CBR Lapangan Material Berbutir Kelas B dengan 10 *Passing*

4.5.2 Pengujian *Sand Cone*

Tabel 4. 63 Hasil Pengujian *Sand Cone* Material Berbutir Kelas B

No	Uraian	Satuan	10 Pass		8 Pass		6 Pass		
a	Berat botol + pasir (sebelum)	gr.	7758	7945	7595	7618	7644	7616	
b	Berat botol + pasir (sesudah)	gr.	2795	3592	2885	2931	2865	2998	
c	Berat pasir dalam lubang + corong	a-b	gr.	4963	4353	4710	4687	4779	4618
d	Berat pasir dalam corong	Lab.	gr.	1836	1836	1836	1836	1836	1836
e	Berat pasir dalam lubang	c-d	gr.	3127	2517	2874	2851	2943	2782
f	Berat isi pasir	Lab.	gr/cc.	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505
g	Volume lubang	e/f	cm ³ .	2077.7	1672.4	1909.6	1894.4	1955.5	1848.5
h	Kadar air	Speedy test	%	10.10	9.30	10.80	10.00	9.80	10.80

1	Berat contoh basah + wadah	gr.	4876	4023	4358	4265	4142	4002	
2	Berat wadah	gr.	12	12	12	12	12	12	
3	Berat contoh	1-2	gr.	4864	4011	4346	4253	4130	3990
4	Berat isi basah $\gamma \partial b$	3/g	gr/cc.	2.341	2.398	2.276	2.245	2.112	2.159
5	Berat isi kering ∂d	4(1+m%)	gr/cc.	2.126	2.194	2.054	2.041	1.924	1.948
6	Maksimum berat isi kering	Lab.	gr/cc.	2.070	2.070	2.070	2.070	2.070	2.070
7	<i>Optimum moisture content</i>	Lab.	%	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10
8	Tertahan ayakan #4	%	64	60	70	68	72	69	
9	Lolos ayakan #4	%	36	40	30	32	28	31	
10	MDD koreksi	gr/cc.	2.107	2.107	2.107	2.107	2.107	2.107	
11	Derajat kepadatan yang diperlukan	%	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	
12	Derajat kepadatan	5/10*100	%	100.91	104.14	97.48	96.87	91.29	92.46

Dari data *sand cone* pada tabel 4.63 tersebut diketahui nilai kepadatan untuk pemadatan dengan percobaan 6 *passing* 91.29% dan 92.46% nilai tersebut belum memenuhi persyaratan kepadatan yaitu minimal 95%. Selanjutnya untuk percobaan 8 *passing* nilai kepadatannya didapatkan 97.48% dan 96.87% sedangkan untuk percobaan 10 *passing* nilai kepadatannya 100.91% dan 104.14% di mana nilai tersebut sudah memenuhi nilai minimal kepadatan yaitu 95%.

Dari hasil pengujian CBR lapangan dan *sand cone* pada material *steel slag* tersebut maka jumlah *passing* yang dapat digunakan untuk pemadatan *steel slag* adalah 10 *passing*.

4.6 Analisa Biaya

Dalam analisa perhitungan biaya pekerjaan *capping layer* terdapat beberapa aspek yang harus diperhitungkan, seperti harga material, kapasitas alat, koefisien alat, jam kerja dan harga sewa alat. Berikut ini merupakan perhitungan analisa biaya pekerjaan *capping layer* dengan material *steel slag* dan material berbutir kelas B

4.6.1 Analisa Biaya Pekerjaan *Capping Layer* dengan Material Berbutir Kelas B

Asumsi

Jarak Base Camp ke lokasi pekerjaan	(L) =	3	KM
Tebal lapis agregat padat	(t) =	0.3	M
Jam kerja efektif per-hari	(Tk) =	7	jam
Berat Isi Agregat	(D) =	1.7	ton/m ³

Bahan

Agregat Kelas B

Faktor kehilangan	(Fh) =	1.1
-------------------	--------	-----

Kebutuhan Agregat /m³

$$1\text{m}^3 \times \text{Fh} = \mathbf{1.10 \text{ M}^3}$$

Alat

WHEEL LOADER

Kapasitas <i>bucket</i>	(V) =	1.5 M3
Faktor <i>bucket</i>	(Fb) =	0.85
Faktor Efisiensi alat	(Fa) =	0.83
Waktu Siklus :		
- Memuat dan lain-lain	(Ts1) =	0.5 menit

Kap. Prod. / jam =

$$\frac{V \times Fb \times Fa \times 60 \times Fk}{Ts1} \quad (Q1) = 102.99 \text{ M3}$$

Koefisien Alat / M3 =

$$1 : Q1 = \mathbf{0.0097 \text{ jam}}$$

DUMP TRUCK 6-8 Ton

Kapasitas bak	(V) =	8 Ton
Faktor Efisiensi alat	(Fa) =	0.83 -
Kecepatan rata-rata bermuatan	(v1) =	20 KM/jam
Kecepatan rata-rata kosong	(v2) =	40 KM/jam
Waktu Siklus :		
- Waktu memuat = $V \times 60 / Q1 \times D$	(T1) =	2.74 menit
- Waktu tempuh isi = $(L : v1) \times 60$ menit	(T2) =	9 menit
- Waktu tempuh kosong = $(L : v2) \times 60$ menit	(T3) =	4.5 menit
- lain-lain	(T4) =	5 menit
	(Ts2) =	21.2 menit

Kap. Prod. / jam =

$$\frac{V \times Fa \times 60}{Ts2 \times D} \quad (Q2) = 11.03 \text{ M3}$$

Koefisien Alat / M3 =

$$1 : Q2 = \mathbf{0.0906 \text{ jam}}$$

MOTOR GRADER

Panjang hamparan	(Lh) =	50 M
Lebar hamparan total	(W) =	3.5 M
Lebar kerja <i>blade</i>	(b) =	2.6 M
Faktor Efisiensi alat	(Fa) =	0.83 -
Kecepatan rata-rata alat	(v) =	4 KM/jam
Jumlah lintasan	(n) =	4 lintasan
Lebar <i>Overlap</i>	(bo) =	0.2 M
Lajur lintasan (N = W/(b-bo))	(N) =	2

Waktu Siklus :

- Perataan 1 lintasan = $Lh : (v \times 1000) \times 60$	(T1) =	0.75 menit
- Lain-lain	(T2) =	3 menit
	(Ts3) =	$\frac{3}{0.75}$ = 3.75 menit

Kap. Prod. / jam =

$$\frac{Lh \times (N(b-bo)+bo) \times t \times Fa \times 60}{N \times n \times Ts3} \quad (Q3) = 184.26 \text{ M3}$$

Koefisien Alat / M3 =

$$1 : Q3 = \mathbf{0.0054 \text{ jam}}$$

VIBRATORY ROLLER

Kecepatan rata-rata alat	(v) =	4 KM/jam
Lebar lajur lalu lintas	(W) =	3.5 M
Lebar roda alat pemadat	(b) =	1.68 M
Lebar overlap	(Bo) =	0.2 M
Lebar efektif pemadatan (be = b - bo)	(be) =	1.48 M
Jumlah lintasan	(n) =	10 lintasan
Lajur lintasan (N = W/(b-bo))	(N) =	2.4
Faktor Efisiensi alat	(Fa) =	0.83 -

Kap. Prod. / jam =

$$\frac{(v \times 1000) \times (N(b-bo)+bo) \times t \times Fa}{n \times N} \quad (Q4) = 155.83 \text{ M3}$$

Koefisien Alat / M3 =

$$1 : Q4 = \mathbf{0.0064 \text{ jam}}$$

WATER TANK TRUCK

Volume tangki air	(V) = 4	M3
Kebutuhan air / M3 agregat padat	(Wc) = 0.07	
Kapasitas pompa air	(pa) = 100	liter/menit
Faktor Efisiensi alat	(Fa) = 0.83	
Kap. Prod. / jam =		
$\frac{pa \times Fa \times 60}{Wc \times 1000}$	(Q5) = 71.14	M3

Koefisien Alat / M3 =

$$1 : Q5 = 0.0141 \text{ jam}$$

Dari perhitungan kapasitas alat, koefisien alat dan koefisien material di atas, maka biaya pekerjaan *capping layer* dengan material berbutir kelas B dapat diperhitungkan seperti pada Tabel 4.64 sebesar Rp335,429.39

Tabel 4. 64 Analisa Biaya Pekerjaan *Capping Layer* dengan Material Berbutir Kelas B

Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah harga
BAHAN				
Agregat Kelas B	M3	1.10	250,000	275,000.00
PERALATAN				
Wheel Loader 1.0-1.6 M3	Jam	0.0097	543,486	5,277.13
Dump Truck 6-8 M3	Jam	0.0906	496,511	45,003.39
Motor Grader >100 HP	Jam	0.0054	513,663	2,787.71
Vibratory Roller 5-8 T	Jam	0.0064	366,249	2,350.29
Water Tanker 3000-4500 L	Jam	0.0141	356,488	5,010.87
JUMLAH TOTAL				335,429.39

4.6.2 Analisa Biaya Pekerjaan *Capping Layer* dengan *Steel Slag*

Asumsi

Jarak <i>Base Camp</i> ke lokasi pekerjaan	(L) =	3	KM
Tebal lapis agregat padat	(t) =	0.3	M
Jam kerja efektif per-hari	(Tk) =	7	jam
Berat Isi Agregat	(D) =	1.7	ton/m ³

Bahan

Steel Slag

Faktor kehilangan	(Fh) =	1.05
-------------------	--------	------

Kebutuhan Agregat /m³

$$1\text{m}^3 \times F_h = 1.05 \text{ M}^3$$

Alat

WHEEL LOADER

Kapasitas <i>bucket</i>	(V) =	1.5	M ³
Faktor <i>bucket</i>	(Fb) =	0.85	
Faktor Efisiensi alat	(Fa) =	0.83	
Waktu Siklus :			
- Memuat dan lain-lain	(Ts1) =	0.5	menit
Kap. Prod. / jam =			
$\frac{V \times F_b \times F_a \times 60 \times F_k}{T_{s1}}$	(Q1) =	102.99	M ³

Koefisien Alat / M³ =

$$1 : Q_1 = 0.0097 \text{ jam}$$

DUMP TRUCK 6-8 Ton

Kapasitas bak	(V) =	8	Ton
Faktor Efisiensi alat	(Fa) =	0.83	-
Kecepatan rata-rata bermuatan	(v1) =	20	KM/jam
Kecepatan rata-rata kosong	(v2) =	40	KM/jam
Waktu Siklus :			

- Waktu memuat = $V \times 60/Q1 \times D$ (T1) = 2.74 menit
- Waktu tempuh isi = $(L : v1) \times 60$ menit (T2) = 9 menit
- Waktu tempuh kosong = $(L : v2) \times 60$ menit (T3) = 4.5 menit
- lain-lain (T4) = 5 menit
- (Ts2) = 21.2 menit

Kap. Prod. / jam =

$$\frac{V \times Fa \times 60}{Ts2 \times D} \quad (Q2) = 11.03 \text{ M3}$$

Koefisien Alat / M3 =

$$1 : Q2 = \mathbf{0.0906 \text{ jam}}$$

MOTOR GRADER

- Panjang hamparan (Lh) = 50 M
- Lebar hamparan total (W) = 3.5 M
- Lebar kerja *blade* (b) = 2.6 M
- Faktor Efisiensi alat (Fa) = 0.83 -
- Kecepatan rata-rata alat (v) = 4 KM/jam
- Jumlah lintasan (n) = 4 lintasan
- Lebar *Overlap* (bo) = 0.2 M
- Lajur lintasan ($N = W/(b-bo)$) (N) = 2
- Waktu Siklus :
- Perataan 1 lintasan = $Lh : (v \times 1000) \times 60$ (T1) = 0.75 menit
- Lain-lain (T2) = 3 menit
- (Ts3) = $\frac{0.75 + 3}{1} = 3.75$ menit

Kap. Prod. / jam =

$$\frac{Lh \times (N(b-bo)+bo) \times t \times Fa \times 60}{N \times n \times Ts3} \quad (Q3) = 184.26 \text{ M3}$$

Koefisien Alat / M3 =

$$1 : Q3 = \mathbf{0.0054 \text{ jam}}$$

VIBRATORY ROLLER

Kecepatan rata-rata alat	(v)	=	4	KM/jam
Lebar lajur lalu lintas	(W)	=	3.5	M
Lebar roda alat pematad	(b)	=	1.68	M
Lebar <i>overlap</i>	(Bo)	=	0.2	M
Lebar efektif pemadatan (be = b - bo)	(be)	=	1.48	M
Jumlah lintasan	(n)	=	8	lintasan
Lajur lintasan (N = W/(b-bo))	(N)	=	2.4	
Faktor Efisiensi alat	(Fa)	=	0.83	-

Kap. Prod. / jam =

$$\frac{(v \times 1000) \times (N(b-bo)+bo) \times t \times Fa}{n \times N} \quad (Q4) = 194.79 \text{ M3}$$

Koefisien Alat / M3 =
 $1 : Q4 = 0.0051 \text{ jam}$

WATER TANK TRUCK

Volume tangki air	(V)	=	4	M3
Kebutuhan air / M3 agregat padat	(Wc)	=	0.07	
Kapasitas pompa air	(pa)	=	100	liter/menit
Faktor Efisiensi alat	(Fa)	=	0.83	-

Kap. Prod. / jam =

$$\frac{pa \times Fa \times 60}{Wc \times 1000} \quad (Q5) = 71.14 \text{ M3}$$

Koefisien Alat / M3 =
 $1 : Q5 = 0.0141 \text{ jam}$

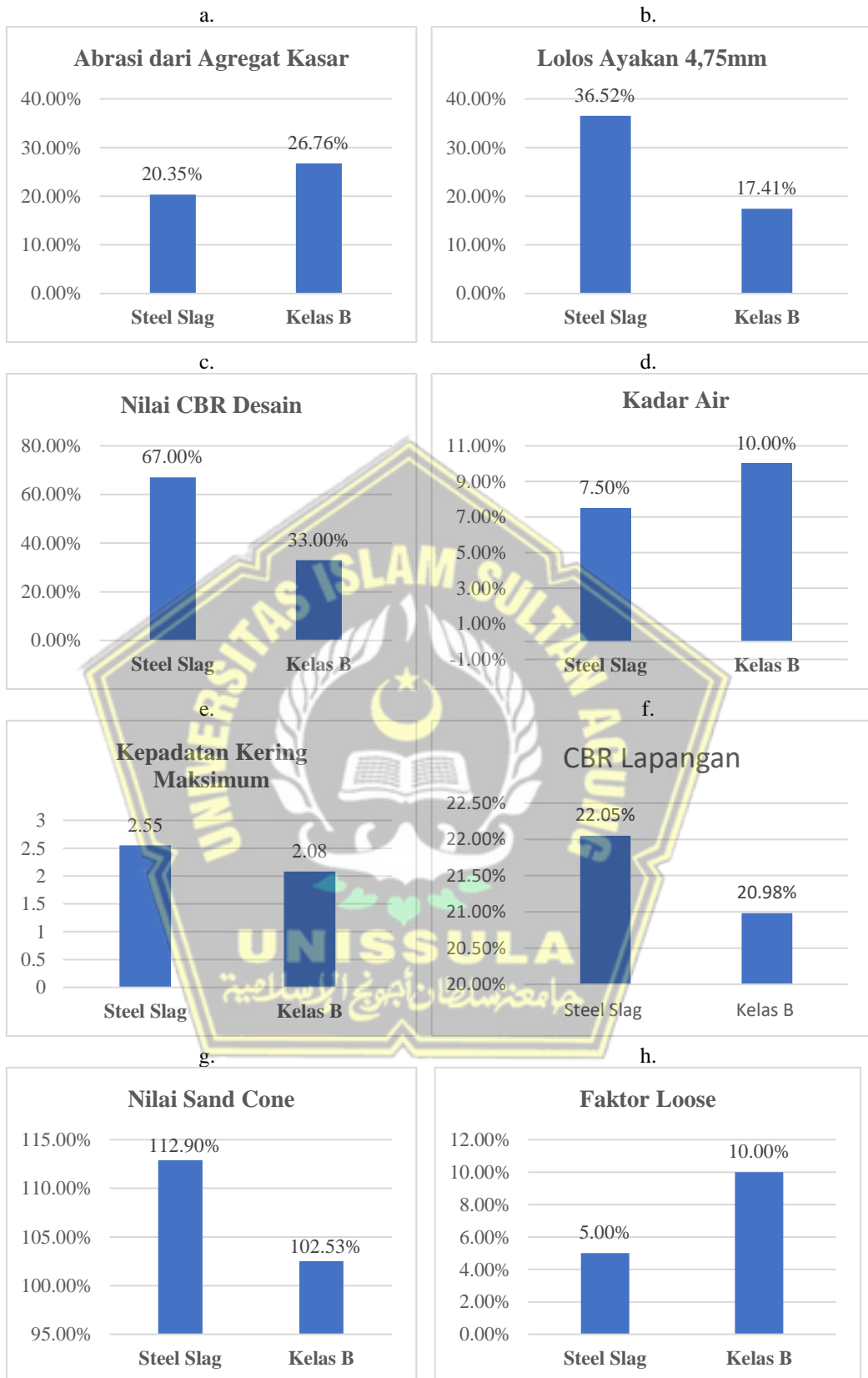
Dari perhitungan kapasitas alat, koefisien alat dan koefisien material di atas, maka biaya pekerjaan *capping layer* dengan material berbutir kelas B dapat diperhitungkan seperti pada Tabel 4.65 sebesar Rp296,209.33.

Tabel 4. 65 Analisa Biaya Pekerjaan *Capping Layer* dengan Material *Steel Slag*

Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah harga
BAHAN				
<i>Steel Slag</i>	M3	1.05	225,000	236,250.00
PERALATAN				
Wheel Loader 1.0-1.6 M3	Jam	0.0097	543,486	5,277.13
Dump Truck 6-8 M3	Jam	0.0906	496,511	45,003.39
Motor Grader >100 HP	Jam	0.0054	513,663	2,787.71
Vibratory Roller 5-8 T	Jam	0.0051	366,249	1,880.23
Water Tanker 3000-4500 L	Jam	0.0141	356,488	5,010.87
JUMLAH TOTAL				296,209.33

4.7 Pembahasan

Dari hasil pengujian material *steel slag* dan material berbutir kelas B pada Subbab 4.2 sampai dengan 4.5 tersebut, dapat dibandingkan dengan persyaratan spesifikasi material *capping layer* (Agregat Kelas B) yang harus dipenuhi pada proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang Seksi 2. Adapun perbandingan spesifikasi dari material tersebut terdapat pada gambar 4.7 Tabel 4.66 berikut.



Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Steel Slag dan Material Berbutir Kelas B

Tabel 4. 66 Perbandingan Spesifikasi Mutu Material Berbutir Kelas B dan *Steel Slag*

Uraian	Spesifikasi <i>Capping Layer</i> (Agregat Kelas B)	Hasil Pengujian Material <i>steel slag</i> (Krakatau Steel)	Hasil Pengujian Material agregat Kelas B (<i>Quary Bojonegara</i>)
Abrasi dari Agregat Kasar	0-40%	20,35%	26,76%
Lolos ayakan 4,75mm	<50%	36,52%	17,41%
Nilai CBR Desain	> 15%	67%	33%
Kadar Air	-	7,50%	10,00%
Kepadatan Kering Maksimum	-	2,55 gr/cm ³	2,08 gr/cm ³
CBR Lapangan	> 15%	22,05%	20,98%
Kepadatan lapangan (<i>sand cone</i>)	95%	112,9%	102,53%
Faktor <i>loose</i>	-	5%	10%

Berdasarkan Gambar 4.7 dan Tabel 4.66, diketahui hasil pengujian dari material *steel slag* dan Material berbutir kelas B sudah memenuhi seluruh kriteria spesifikasi mutu material *capping layer* yang disyaratkan pada proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang Seksi 2. Diketahui nilai abrasi dari material *steel slag* sebesar 20,35% dan material berbutir kelas B sebesar 26,76% sehingga ada selisih sebesar 6,41%. Kedua nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan nilai abrasi dari *capping layer* yang disyaratkan yaitu berkisar antara 0-40%. Berdasarkan data tersebut, material berbutir kelas B memiliki nilai abrasi yang lebih besar dari pada material *steel slag*, hal tersebut menandakan bahwa material berbutir B lebih mudah aus daripada material *steel slag*.

Selanjutnya untuk persyaratan butiran agregat yang lolos ayakan 4,75mm, dalam proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang Seksi 2 disyaratkan harus kurang dari 50% dan berdasarkan pada Tabel 4.66, hasil pengujian dari kedua material tersebut sudah memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Namun, jika dibandingkan dengan spesifikasi jalan tol tahun 2020 persyaratan butiran agregat kelas B yang lolos ayakan 4,75mm berkisar antara 25-55%. Dari hasil pengujian di atas diketahui jumlah butiran agregat yang lolos ayakan 4,75mm pada material *steel slag* sudah sesuai dengan spesifikasi tersebut yaitu sebesar 36,52%. Sebaliknya, pada material berbutir kelas B jumlah butiran agregat yang lolos ayakan 4,75mm sejumlah 17,41% (selisih 19,11% dengan *steel*

slag), di mana nilai tersebut masih belum memenuhi spesifikasi yang disyaratkan pada spesifikasi jalan tol tahun 2020. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan penyesuaian gradasi ulang pada material yang akan didatangkan ke lapangan dengan membuat *job mix* atau campuran material agregat khusus.

Spesifikasi selanjutnya yang harus dipenuhi sebuah material berbutir yang akan digunakan sebagai *capping layer* adalah nilai CBR, baik nilai CBR desain di laboratorium maupun nilai CBR di lapangan. Nilai CBR ini sangat penting karena mempengaruhi fungsi utama dari lapisan *capping layer* perkerasan jalan yaitu untuk meningkatkan nilai CBR dari tanah eksisting di lapangan yang kurang dari 6%.

Secara desain, nilai CBR minimal yang harus dipenuhi adalah lebih dari 15% dan dari hasil pengujian laboratorium, kedua material tersebut sudah memenuhi persyaratan di mana nilai CBR desain dari *steel slag* 67% dan material berbutir kelas B 33% (selisih 34%). Sedangkan untuk nilai CBR lapangan dari *steel slag* 22,05% dan material berbutir kelas B 20,98% (selisih 1,07%), di mana nilai tersebut sudah memenuhi syarat nilai CBR lapangan yang ditentukan yaitu lebih dari 15%.

Dari pengujian CBR laboratorium maupun pengujian CBR lapangan diketahui bahwa nilai CBR dari material *steel slag* lebih besar dari pada material berbutir kelas B. Hal tersebut menunjukkan bahwa material *steel slag* bersifat lebih mudah dipadatkan dan memiliki tingkat pemadatan yang lebih baik dari pada material berbutir kelas B.

Untuk spesifikasi kepadatan yang disyaratkan harus lebih besar dari 95%, nilai kepadatan material *steel slag* juga lebih baik dari nilai kepadatan material berbutir kelas B, di mana nilai kepadatan material *steel slag* 112,9% sedangkan nilai kepadatan material berbutir kelas B 102,53% (selisih 10,37%). Hal tersebut menunjukkan bahwa kualitas dan tingkat kepadatan dari material *steel slag* lebih baik dari pada material berbutir kelas B.

Selain beberapa spesifikasi tersebut, terdapat satu faktor lain yang menjadi perhatian pada saat pelaksanaan pekerjaan *capping layer* di lapangan, yaitu nilai faktor *loose*. Nilai faktor *loose* ini perlu diperhatikan karena berkaitan dengan perencanaan pengadaan material dan ketebalan penghamparan material sebelum dilakukan pemadatan. Pada tabel 4.66 di atas diketahui bahwa nilai faktor *loose*

pada material *steel slag* sebesar 5% dan pada material berbutir kelas B sebesar 10% (selisih 5%). Artinya, untuk mendapatkan 1m³ *steel slag* dalam kondisi padat, membutuhkan 1,05 m³ material *steel slag* dan untuk mendapatkan 1m³ material berbutir kelas B dalam kondisi padat, membutuhkan 1,10 m³ material berbutir kelas B. Hal tersebut menunjukkan bahwa untuk mencapai volume *capping layer* pada kondisi padat yang direncanakan, membutuhkan lebih banyak material berbutir kelas B daripada material *steel slag*.

Dalam kegiatan konstruksi sebagai pertimbangan pemilihan material yang paling efisien, selain diperlukan pertimbangan dari segi mutu atau kualitas perlu juga pertimbangan secara biaya. Berdasarkan analisa perhitungan biaya untuk pekerjaan *capping layer* baik dengan menggunakan material *steel slag* maupun material berbutir kelas B pada Subbab 4.6 dapat dibandingkan kebutuhan biaya untuk pekerjaan *capping layer* sampai dengan kondisi padat dengan menggunakan material *steel slag* maupun material berbutir kelas B sesuai dengan Tabel 4.67 berikut.

Tabel 4. 67 Perbandingan Harga Satuan Capping Layer dengan Material Steel Slag dan Material Berbutir Kelas B

Uraian	Satuan	Volume (Kondisi Padat)	Steel Slag	Material Berbutir Kelas B
Material	M3	1	236,250.00	275,000.00
Biaya Peralatan Pemasangan	M3	1	59,959.33	60,429.39
TOTAL HARGA			296,209.33	335,429.39

Dari perbandingan biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan *capping layer* perkerasan jalan di Proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang pada Tabel 4.67 di atas, diketahui bahwa biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan *capping layer* dengan menggunakan Material *Steel Slag* sebesar Rp296,209.33,- per meter kubik dan untuk pekerjaan *capping layer* dengan menggunakan material berbutir kelas B sebesar Rp335,429.39,- per meter kubik, di mana terdapat selisih harga sekitar Rp39.223,06,- per meter kubik. Hal tersebut menunjukkan bahwa biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan *capping layer* dengan menggunakan Material *Steel Slag* memiliki harga yang lebih murah daripada dengan menggunakan material berbutir kelas B.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian pemanfaatan *steel slag* sebagai pengganti material agregat kelas B pada pekerjaan *capping layer* perkerasan jalan di proyek Simpang Susun Tol Serang Panimbang seksi 2, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Nilai CBR laboratorium dari *steel slag* 67% dan material berbutir kelas B 33%, dengan selisih CBR 34% lebih tinggi material *steel slag*. Sedangkan nilai CBR lapangan dari *steel slag* 22,05% dan material berbutir kelas B 20,98% dengan selisih CBR 1,07% lebih tinggi material *steel slag*. Hal tersebut menunjukkan bahwa material *steel slag* bersifat lebih mudah dipadatkan dan memiliki tingkat kepadatan yang lebih baik.
- 2) Nilai kepadatan lapangan dari pengujian *sand cone* material *steel slag* 112,9% sedangkan nilai kepadatan material berbutir kelas B 102,53% dengan selisih kepadatan 10,37% lebih tinggi material *steel slag*, artinya kualitas dan tingkat kepadatan dari material *steel slag* lebih baik dari pada material berbutir kelas B.
- 3) Nilai faktor *loose* pada material *steel slag* sebesar 5% dan pada material berbutir kelas B sebesar 10% sehingga terdapat selisih 5% yang artinya kebutuhan volume material berbutir kelas B untuk pekerjaan *capping layer* lebih banyak dari pada material *steel slag*.
- 4) Harga satuan untuk pekerjaan *capping layer* dengan menggunakan material *steel slag* sebesar Rp296,679.39/m³ dan untuk material berbutir kelas B sebesar Rp335,429.39/m³, sehingga terdapat selisih Rp39.223,06/m³. Hal tersebut menunjukkan bahwa biaya pekerjaan *capping layer* dengan menggunakan *steel slag* lebih murah dari pada material berbutir kelas B.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmatun, S. K., Umran S., Wayan M., & Sulha. (2016). Pengujian Material Tanah Desa E'e Rinere Kec. Kulisusu Utara Kab. Buton Utara Sebagai Capping Layer Pada Konstruksi Pekerjaan Jalan. *Jurnal Media Konstruksi*, 6(2).
- Craig, R. F., & Soepandji, B. S. (1991). Mekanika tanah. *Erlangga. Jakarta*, 1-40.
- Kencana, M. R. B. (2020, 30 Oktober). *Penggunaan Aspal Buton untuk Jalan*. Liputan6. <https://www.liputan6.com/bisnis/read/4395477/penggunaan-aspal-buton-untuk-jalan-nasional-capai-793-km>
- Nasional, B. S. (2015). SNI 1729-2015: Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional*, 289.
- Nugraha, Y. (2015). *Variasi Penambahan Silica Fume terhadap Beton Mutu Tinggi Self Compacting Concrete (SCC)* (Disertasi Doktorat, Universitas Pendidikan Indonesia).
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Prosiding Semnastek*.
- Sumajouw, M. D., Dapas, S. O., & Windah, R. S. (2014). Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(4).
- Yulistiyanto, B. (2019). *Metode Numerik Aplikasi Untuk Teknik Sipil*. UGM PRESS.