

TUGAS AKHIR

**ANALISIS TIMBUNAN PERBAIKAN *SUBGRADE*
DENGAN SUBSTITUSI *STONE CRUSHER WASTE*
(STUDI KASUS : *INDONESIA GROWTH PROJECT BAHODOPI*
BLOCK 2 & 3)**

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



Disusun Oleh :

**Dyah Ainun Syafitri
NIM : 30202300193**

**Muhammad Deny Adi Saputra
NIM : 30202300209**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TIMBUNAN PERBAIKAN SUBGRADE
DENGAN SUBSTITUSI STONE CRUSHER WASTE
(STUDI KASUS : INDONESIA GROWTH PROJECT BAHODOPI
BLOCK 2 & 3)



Muhammad Deny Adi Saputra
NIM : 30202300209



Dyah Ainun Syafitri
NIM : 30202300193

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 20 Agustus 2025

Tim Penguji

1. **Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT.**
NIDN: 0611118903
2. **Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.**
NIDN: 0625059102

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

21 / A.2 / SA – T / III / 2025

Pada hari ini tanggal **20** Agustus 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing

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

Muhammad Deny Adi Saputra
NIM : 30202300209

Dyah Ainun Syafitri
NIM : 30202300193

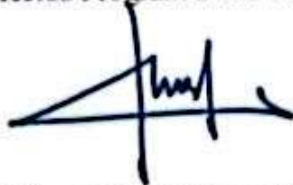
Judul : ANALISIS TIMBUNAN PERBAIKAN *SUBGRADE* DENGAN
SUBSTITUSI *STONE CRUSHER WASTE* (STUDI KASUS : *INDONESIA*
GROWTH PROJECT BAHODOPI BLOCK 2 & 3)

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	24/03/2025	
2	Seminar Proposal	12/07/2025	
3	Pengumpulan data	13/07/2025	
4	Analisis data	28/07/2025	
5	Penyusunan Laporan	29/07/2025	
6	Seleseai Laporan	01/08/2025	

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 Utama



Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Dyah Ainun Syafitri

NIM : 30202300193

NAMA : Muhammad Deny Adi Saputra

NIM : 30202300209

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**ANALISIS TIMBUNAN PERBAIKAN SUBGRADE DENGAN
SUBSTITUSI STONE CRUSHER WASTE (STUDI KASUS : INDONESIA
GROWTH PROJECT BAHODOPI BLOCK 2 & 3)**

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka kami bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 12 / 08 / 2025

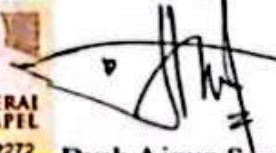
Yang membuat pernyataan I,



Muhammad Deny Adi Saputra

NIM : 30202300209

Yang membuat pernyataan II,



Dyah Ainun Syafitri

NIM : 30202300193



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Dyah Ainun Syafitri
NIM : 30202300193

NAMA : Muhammad Deny Adi Saputra
NIM : 30202300209

**JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISIS TIMBUNAN PERBAIKAN
SUBGRADE DENGAN SUBSTITUSI STONE CRUSHER I (STUDI KASUS :
INDONESIA GROWTH PROJECT BAHODOPI BLOCK 2 & 3)**

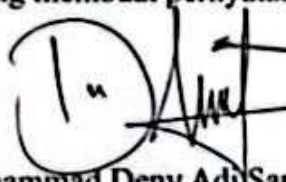
Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau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

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

Demikian pernyataan ini kami buat.

Semarang, 12/08/2025

Yang membuat pernyataan I,


Muhammad Deny Adi Saputra
NIM : 30202300209

Yang membuat pernyataan II,




Dyah Ainun Syafitri
NIM : 30202300193

MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri”

(Q.S. Ar-Ra'd: 11)

“Dan Dia bersama kamu di mana saja kamu berada. Dan Allah Maha Melihat apa yang kamu kerjakan”

(Q.S. Al-Hadid: 4)

“Dan katakanlah: Ya Tuhanku, tambahkanlah kepadaku ilmu pengetahuan”

(Q.S. Ar-Ra'd: 11)

“Menuntut ilmu adalah taqwa, menyampaikan ilmu adalah ibadah, mengulang-ulang ilmu adalah zikir, mencari ilmu adalah jihad”

(Abu Hamid Al Ghazali)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya. Sholawat serta salam semoga sentiasa tercurah pada junjungan dan suri tauladan kita Nabi Muhammad SAW sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Dul Alim dan Almh Ibu Mas Puroh atas segala doa, kasih sayang, dan pengorbanan tanpa pamrih dalam mendidik dan membesarkan penulis. Semoga Allah membalas kebaikan Bapak/Almh Ibu dengan pahala yang berlipat ganda.
2. Dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yaitu Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT. yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan membimbing penulis dengan sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang tiada pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Partner penelitian penulis yaitu Muhammad Deny Adi Saputra yang selalu berjuang bersama-sama dalam menyusun Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman semua yang telah membantu serta memberi semangat yang tiada bias saya sebut satu-persatu.

Dyah Ainun Syafitri

NIM : 30202300193

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya. Sholawat serta salam semoga sentiasa tercurah pada junjungan dan suri tauladan kita Nabi Muhammad SAW sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Wiyono dan Ibu Siti Saidah atas segala doa, kasih sayang, dan pengorbanan tanpa pamrih dalam mendidik dan membesarkan penulis. Semoga Allah membalas kebaikan Bapak/Ibu dengan pahala yang berlipat ganda.
2. Dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yaitu Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT. yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan membimbing penulis dengan sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang tiada pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Partner penelitian penulis yaitu Dyah Ainun Syafitri yang selalu berjuang bersama-sama dalam menyusun Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman semua yang telah membantu serta memberi semangat yang tiada bias saya sebut satu-persatu.

Muhammad Deny Adi Saputra

NIM : 30202300209

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, karena atas limpahan rahmat, hidayah, serta inayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan judul: "Analisis Timbunan Perbaikan *Subgrade* Dengan *Substitusi Stone Crusher* I (Studi Kasus : *Indonesia Growth Project* Bahodopi *Block 2 & 3*)".

Tersusunnya laporan Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan ucapan terima kasih yang tulus, penulis ingin menyampaikan apresiasi kepada:

1. Prof. Dr. H. Gunarto, S.H., M. Hum., selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Dr. Abdul Rochim, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Muhammad Rusli Alyar, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak bimbingan, saran, serta masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan laporan ini.
5. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu namun telah membantu dan memberikan dukungan selama penyusunan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Besar harapan penulis agar laporan ini dapat memberikan manfaat, tidak hanya bagi penulis, tetapi juga bagi pihak lain yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, Agustus 2025

Dyah Ainun Syafitri
Muhammad Deny Adi Saputra

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Maksud dan Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Stone Crusher.....	5
2.2. Bagian-Bagian <i>Stone Crusher</i>	7
2.3. <i>Stone Crusher Waste</i>	9
2.4. Jalan Hauling	10
2.5. <i>Subgrade</i> dan Perannya dalam Konstruksi Jalan	12
2.6. Jenis Perbaikan <i>Subgrade</i>	13
2.7. Material Perbaikan <i>Subgrade</i>	15
2.8. Karakteristik Tanah	17
2.9. Penelitian terdahulu yang sejenis.....	27

BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1. Tinjauan Umum	29
3.2. Lokasi Penelitian.....	29
3.3. Metode Penelitian	31
3.4. Bahan Penelitian	31
3.5. Alat Penelitian.....	32
3.6. Komposisi dan Jumlah Sampel	33
3.7. Prosedur Penelitian	33
3.8. Variabel Penelitian	46
3.9. Metode Analisis Hasil	47
3.10. Bagan Alir Penelitian	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1. Hasil Penelitian	50
4.2. Sifat Fisik dan Mekanis Material <i>Stone Crusher Waste</i>	50
4.3. Evaluasi Kelayakan Teknis <i>Stone Crusher Waste</i> sebagai Material Timbunan Perbaikan <i>Subgrade</i>	52
4.4. Analisis Campuran <i>Stone Crusher Waste</i> dengan Tanah Asli di Laboratorium.....	53
4.4.1. Analisis Saringan	53
4.4.2. Berat Jenis (Specific Gravity)	56
4.4.3. Kadar Air	57
4.4.4. Kadar Lumpur	60
4.4.5. Batas Atterberg.....	63
4.4.6. Proctor Standard.....	69
4.4.7. California Bearing Ratio (CBR)	77
4.4.8. Penentuan Komposisi Campuran Optimum.....	90
BAB V KEISMPULAN DAN SARAN	96
5.1. Kesimpulan	96
5.2. Saran	97
DAFTAR PUSTAKA.....	98
LAMPIRAN.....	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Berat minimum contoh uji agregat kasar (SNI ASTM C136:2012)	23
Tabel 2.2. Jumlah contoh uji maksimum yang diizinkan tertahan pada saringan, kg (SNI ASTM C136:2012)	23
Tabel 2.3. Rangkuman Penelitian Terdahulu	27
Tabel 3.1. Komposisi Campuran Sampel	33
Tabel 3.2. Faktor koreksi	43
Tabel 3.3. Ketentuan Timbunan (Spesifikasi Umum 2018; Seksi 3.3. Bahan Timbunan, Pasal 3.3.2.) & Ketentuan Subgrade (Spesifikasi Teknis Proyek IGP Bahodopi Block 2 & 3)	48
Tabel 4.1. Data Pengujian Sifat Fisik Stone Crusher Waste	50
Tabel 4.2. Data Pengujian Sifat Mekanis Stone Crusher Waste	51
Tabel 4.3. Nilai Perhitungan Analisis Saringan pada Sampel S25	53
Tabel 4.4. Nilai Perhitungan Analisis Saringan Komposisi S50	54
Tabel 4.5. Nilai Perhitungan Analisis Saringan S75	54
Tabel 4.6. Nilai Perhitungan Analisis Saringan Komposisi S100	55
Tabel 4.7. Nilai Perhitungan Berat Jenis dengan Berbagai Komposisi Campuran Stone Crusher Waste dan Tanah Asli	56
Tabel 4.8. Hasil Pengujian Kadar Air pada Sampel S25	58
Tabel 4.9. Hasil Pengujian Kadar Air pada Sampel S50	58
Tabel 4.10. Hasil Pengujian Kadar Air pada Sampel S75	58
Tabel 4.11. Hasil Pengujian Kadar Air pada Sampel S100	59
Tabel 4.12. Rekap Hasil Pengujian Kadar Air	59
Tabel 4.13. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Komposisi S25	60
Tabel 4.14. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Komposisi S50	61
Tabel 4.15. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Komposisi S75	61
Tabel 4.16. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Komposisi S100	62
Tabel 4.17. Rekap Nilai Pengujian Kadar Lumpur	62
Tabel 4.18. Hasil Batas Cair pada Sampel S25	63
Tabel 4.19. Hasil Batas Cair pada Sampel S50	64
Tabel 4.20. Hasil Batas Cair pada Sampel S75	65

Tabel 4.21. Hasil Batas Cair pada Sampel S100	65
Tabel 4.22. Hasil Batas Plastis pada Sampel S25	66
Tabel 4.23. Hasil Batas Plastis pada Sampel S50	67
Tabel 4.24. Hasil Batas Plastis pada Sampel S75	67
Tabel 4.25. Hasil Batas Plastis pada Sampel S100	67
Tabel 4.26. Hasil Perhitungan Batas Cair, Batas Plastis, dan Plastis Indeks	68
Tabel 4.27. Nilai Perhitungan Proctor Standard pada Sampel S25	70
Tabel 4.28. Nilai Perhitungan Proctor Standard pada Sampel S50	71
Tabel 4.29. Nilai Perhitungan Proctor Standard pada Sampel S75	72
Tabel 4.30. Nilai Perhitungan Proctor Standard pada Sampel S100	73
Tabel 4.31. Rekap Hasil Pengujian Proctor Standard	76
Tabel 4.32. Hasil Pengujian dengan 15 Tumbukan	77
Tabel 4.33. Hasil Pengujian dengan 35 Tumbukan	77
Tabel 4.34. Hasil Pengujian dengan 65 Tumbukan	78
Tabel 4.35. Nilai Perhitungan dengan 15 Tumbukan	79
Tabel 4.36. Nilai Perhitungan dengan 15 Tumbukan	79
Tabel 4.37. Nilai Perhitungan dengan 15 Tumbukan	79
Tabel 4.38. Hasil Penetrasi dengan 15 Tumbukan	80
Tabel 4.39. Hasil Penetrasi dengan 35 Tumbukan	81
Tabel 4.40. Hasil Penetrasi dengan 35 Tumbukan	81
Tabel 4.41. Rekap Nilai CBR pada 65 Tumbukan	89
Tabel 4.42. Nilai CBR pada 35 Tumbukan	89
Tabel 4.43. Nilai CBR pada 15 Tumbukan	89
Tabel 4.44. Nilai CBR pada 100% Kepadatan Kering Maksimum	89
Tabel 4.45. Rekap Hasil Pengujian Laboratorium dengan Komposisi 25% Stone Crusher Waste + 75% Tanah Asli	91
Tabel 4.46. Rekap Hasil Pengujian Laboratorium dengan Komposisi 50% Stone Crusher Waste + 50% Tanah Asli	91
Tabel 4.47. Rekap Hasil Pengujian Laboratorium dengan Komposisi 75% Stone Crusher Waste + 25% Tanah Asli	92
Tabel 4.48. Rekap Hasil Pengujian Laboratorium dengan Komposisi 100% Stone Crusher Waste + 0% Tanah Asli	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Stone Crusher (IGP Bahodopi Block 2 & 3)	7
Gambar 2.2. Bagian-bagian Stone Crusher (IGP Bahodopi Block 2 & 3)	7
Gambar 2.3. Material Stone Crusher Waste	10
Gambar 2.4. Jalan <i>Hauling</i>	12
Gambar 2.5. Jenis tanah dasar dari muka tanah asli (Sumber: Sukirman, 1999)	13
Gambar 2.6. Atterberg limits	20
Gambar 2.7. Alat uji CBR di laboratorium (Sumber : Budi, 2011).....	26
Gambar 3.1. Lokasi IGP Bahodopi Block 2 & 3	30
Gambar 3.2. Layout Main Haul Road 112	30
Gambar 3.3. Tanah Asli	31
Gambar 3.4. Stone Crusher Waste	32
Gambar 3.5. Proporsi untuk pencampuran material menggunakan 4 buah nampan (Dokumen Penulis, 2025).....	35
Gambar 3.6. Bagan Alir Penelitian	49
Gambar 4.1. Grafik Gradasi Butiran	55
Gambar 4.2. Grafik Berat Jenis Agregat Berdasarkan Komposisi Campuran Stone Crusher Waste dan Tanah Asli.....	57
Gambar 4.3. Grafik Hasil Pengujian Kadar Air.....	59
Gambar 4.4. Grafik Hasil Pengujian Kadar Lumpur	62
Gambar 4.5. Grafik Batas Cair pada Sampel S25	64
Gambar 4.6. Grafik Batas Cair pada Sampel S50	65
Gambar 4.7. Grafik Batas Cair pada Sampel S75	65
Gambar 4.8. Grafik Batas Cair pada Sampel S100	66
Gambar 4.9. Grafik Nilai Batas Cair, Batas Plastis, dan Plastis Indeks	68
Gambar 4.10. Grafik W_{opt} pada Sampel S25	74
Gambar 4.11. Grafik W_{opt} pada Sampel S50	74
Gambar 4.12. Grafik W_{opt} pada Sampel S75	75
Gambar 4.13. Grafik W_{opt} pada Sampel S100	75
Gambar 4.14. Grafik W_{opt} yang Menunjukkan Komposisi Campuran antara Stone Crusher Waste dan Tanah Asli.....	76

Gambar 4.15.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S25 dengan 15 Tumbukan ...	82
Gambar 4.16.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S50 dengan 15 Tumbukan ...	83
Gambar 4.17.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S75 dengan 15 Tumbukan ...	83
Gambar 4.18.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S100 dengan 15 Tumbukan .	84
Gambar 4.19.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S25 dengan 35 Tumbukan ...	84
Gambar 4.20.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S50 dengan 35 Tumbukan ...	85
Gambar 4.21.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S75 dengan 35 Tumbukan ...	85
Gambar 4.22.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S100 dengan 35 Tumbukan .	86
Gambar 4.23.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S25 dengan 65 Tumbukan ...	86
Gambar 4.24.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S50 dengan 65 Tumbukan ...	87
Gambar 4.25.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S75 dengan 65 Tumbukan ...	87
Gambar 4.26.	Grafik hasil penetrasi pada Sampel S100 dengan 65 Tumbukan .	88
Gambar 4.27.	Grafik Nilai CBR.....	90
Gambar 4.28.	Rekap Hasil Pengujian Campuran Stone Crusher Waste dan Tanah Asli.....	94

**ANALISIS TIMBUNAN PERBAIKAN *SUBGRADE*
DENGAN SUBSTITUSI *STONE CRUSHER WASTE*
(Studi Kasus : *Indonesia Growth Project Bahodopi Block 2 & 3*)**

ABSTRAK

Pembangunan jalan hauling di kawasan pertambangan nikel memerlukan kondisi subgrade yang kuat dan stabil untuk mendukung aktivitas transportasi alat berat. Namun, berdasarkan hasil pengujian CBR pada ruas *Main Haul Road 112 Zona 2* proyek *Indonesia Growth Project (IGP) Bahodopi Block 2 & 3* milik PT Vale Indonesia, nilai *CBR subgrade* berada di bawah standar teknis yang ditetapkan. Di sisi lain, proses pemecahan batu dengan alat *Stone Crusher* menghasilkan limbah (*Stone Crusher Waste*) dalam jumlah besar yang belum dimanfaatkan optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi *Stone Crusher Waste* tersebut sebagai material alternatif dalam perbaikan *subgrade jalan hauling*.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengambilan sampel *Stone Crusher Waste* dan tanah asli di lokasi proyek, dilanjutkan dengan serangkaian uji laboratorium meliputi analisis saringan, berat jenis, kadar air, kadar lumpur, batas *Atterberg*, *Proctor Standard*, dan uji *CBR*. Komposisi campuran divariasikan menjadi 25%, 50%, 75%, hingga 100% *Stone Crusher Waste*, untuk menentukan proporsi paling efektif dalam meningkatkan sifat fisik dan mekanik tanah *subgrade*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran dengan komposisi 75% *Stone Crusher Waste* dan 25% tanah asli memberikan performa terbaik berdasarkan nilai *CBR* dan kepadatan maksimum. Dengan demikian, *Stone Crusher Waste* layak digunakan sebagai material timbunan perbaikan *subgrade jalan hauling*.

Kata Kunci: CBR; jalan hauling; *Indonesia Growth Project*, *Stone Crusher Waste*; *subgrade*; timbunan.

**ANALYSIS OF SUBGRADE IMPROVEMENT EMBANKMENT
WITH STONE CRUSHER WASTE SUBSTITUTION
(Case Study: Indonesia Growth Project Bahodopi Block 2 & 3)**

ABSTRACT

The construction of hauling roads in nickel mining areas requires a strong and stable subgrade to support heavy equipment transportation activities. However, based on the CBR test results on the Main Haul Road 112 Zone 2 of the Indonesia Growth Project (IGP) Bahodopi Block 2 & 3 owned by PT Vale Indonesia, the subgrade CBR values were found to be below the required technical standards. On the other hand, the aggregate crushing process using a Stone Crusher produces a large volume of waste material (Stone Crusher Waste) that remains underutilized. This research aims to evaluate the potential of using Stone Crusher Waste as an alternative material for subgrade improvement in hauling road construction.

The research method involves collecting samples of Stone Crusher Waste and native soil from the project site, followed by a series of laboratory tests including sieve analysis, specific gravity, moisture content, fines content, Atterberg limits, Proctor Standard, and CBR testing. The composition of the mixtures was varied at 25%, 50%, 75%, and 100% Stone Crusher Waste to determine the most effective proportion for enhancing the physical and mechanical properties of the subgrade soil.

Test results indicated that the mixture containing 75% Stone Crusher Waste and 25% native soil provided the best performance in terms of CBR value and maximum dry density. Therefore, Stone Crusher Waste is considered suitable for use as fill material in subgrade improvement for hauling roads.

Keywords: *CBR; hauling road; Indonesia Growth Project; Stone Crusher Waste; subgrade; embankment.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam pembangunan infrastruktur jalan tambang, kondisi tanah dasar (*subgrade*) memegang peranan penting terhadap ketahanan dan kenyamanan operasional. Salah satu contoh nyata terdapat pada jalan *hauling* di kawasan *Indonesia Growth Project (IGP)* Bahodopi *Block 2 & 3* milik PT Vale Indonesia yang terletak di Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah. Proyek ini merupakan proyek strategis milik PT Vale Indonesia yang menjadi bagian dari upaya ekspansi sektor pertambangan nikel untuk mendukung kebutuhan industri nasional hingga internasional. Dalam konteks tersebut, jalan *hauling* menjadi elemen vital yang menghubungkan titik-titik penting dalam proses pengangkutan material tambang, sehingga kualitas dan kekuatan tanah dasar di bawah perkerasan jalan menjadi fondasi utama dalam menjamin kelancaran operasional. Apabila *subgrade* tidak memenuhi standar teknis, terutama dalam hal daya dukung tanah (*CBR*), dapat menyebabkan kerusakan dini pada badan jalan dan meningkatkan biaya perawatan.

Berdasarkan pengujian awal di lapangan, segmen jalan *hauling* pada *Main Haul Road (MHR)* 112 Zona 2 menunjukkan nilai *CBR subgrade* yang rendah, yaitu di bawah standar teknis proyek. Kondisi ini menuntut adanya perbaikan *subgrade* agar jalan dapat berfungsi optimal dalam mendukung lalu lintas alat berat. Biasanya, perbaikan *subgrade* dilakukan dengan menggunakan material timbunan pilihan dari *Quarry* setempat.

Di sisi lain, proses produksi agregat menggunakan alat *Stone Crusher* pada proyek ini menghasilkan limbah berupa campuran partikel kasar dan halus yang tidak sesuai dengan standar agregat konstruksi yang ditetapkan. Material sisa ini, dikenal sebagai *Stone Crusher Waste*, selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Namun, berdasarkan pengamatan awal, *Stone Crusher Waste* memiliki potensi signifikan untuk dimanfaatkan kembali, khususnya sebagai material timbunan untuk perbaikan *subgrade* pada konstruksi jalan *hauling*. Potensi ini diperkuat oleh karakteristik materialnya yang mengandung fraksi halus dan kasar yang memungkinkan pemadatan optimal. Selain itu, keberadaan *Stone Crusher*

Waste dalam jumlah besar di lokasi proyek menjadikannya sebagai sumber material alternatif yang ekonomis dan mudah diakses. Pemanfaatan limbah ini juga berpeluang mengurangi ketergantungan pada material timbunan konvensional dari *quarry*, sekaligus mendukung upaya pengelolaan lingkungan melalui prinsip pemanfaatan kembali (*reuse*) limbah konstruksi.

Pemanfaatan *Stone Crusher Waste* sebagai material pengganti timbunan *subgrade* perlu dikaji secara teknis melalui pengujian laboratorium untuk memastikan kesesuaiannya terhadap spesifikasi teknis proyek. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi perbaikan *subgrade* dengan substitusi *Stone Crusher Waste* pada jalan *hauling* di IGP Bahodopi Block 2 & 3.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas untuk menyelesaikan Tugas Akhir sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik fisik dan mekanis material *waste* yang dihasilkan dari proses *Stone Crusher* di IGP Bahodopi Block 2 & 3?
2. Apakah material *waste* tersebut memenuhi persyaratan teknis untuk digunakan sebagai material timbunan perbaikan *subgrade*?
3. Komposisi campuran seperti apa yang paling optimal dalam timbunan perbaikan *subgrade* dengan substitusi *Stone Crusher Waste*?

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari pembuatan Tugas Akhir ini yaitu :

1. Menganalisis karakteristik fisik dan mekanis material *Stone Crusher Waste*.
2. Mengidentifikasi kelayakan teknis penggunaan *Stone Crusher Waste* sebagai material timbunan perbaikan *subgrade*.
3. Mengidentifikasi komposisi campuran yang paling optimal pada timbunan perbaikan *subgrade* dengan substitusi penggunaan *Stone Crusher Waste*.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi kasus dilakukan di area proyek *IGP Bahodopi Block 2 & 3* milik PT Vale Indonesia di Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah.
2. Material yang dikaji adalah *waste* dari *stone crusher* yang berasal dari *Hopper* sebelum proses *crushing*, tidak termasuk fraksi yang dipakai untuk spesifikasi agregat konstruksi.
3. *Stone Crusher* yang digunakan merupakan *Stone Crusher* di proyek *IGP Bahodopi Block 2 & 3* milik PT Vale Indonesia di Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah.
4. Penggunaan material *Stone Crusher Waste* hanya untuk perbaikan *subgrade*.
5. Pengujian laboratorium terbatas pada pengujian sifat fisik dan mekanik (Analisis Saringan, Berat Jenis, Kadar Lumpur, Batas *Atteberg*, *Proctor Standard* dan *CBR* Laboratorium).
6. Spesifikasi teknis yang dipakai sesuai dengan spesifikasi teknis di Proyek *IGP Bahodopi Block 2 & 3*.
7. Fokus penelitian dibatasi pada analisis kondisi jalan *hauling MHR (Mine Haul Road) 112 Zona 2 (STA 1+350 – STA 1+400)*.
8. Kelayakan teknis yang diteliti hanya terbatas pada sifat fisik dan mekanis pada material *Stone Crusher Waste*.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini dibagi ke dalam beberapa bab dengan penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah, serta sistematik penulisan penelitian tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka membahas teori pendukung terkait *Stone Crusher*, limbah *Stone Crusher*, jalan *hauling*, *subgrade*, metode perbaikan tanah, material *subgrade*, serta penelitian terdahulu.

BAB III METODE PENELITIAN

Metodologi menjelaskan lokasi penelitian, metode pengumpulan data, prosedur pengujian laboratorium, variable penelitian, bagan alir penelitian serta *timeline* penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil pengujian laboratorium dan analisis kelayakan *Stone Crusher Waste* sebagai material timbunan *subgrade*.

BAB V PENUTUP

Penutup berisikan kesimpulan dari penelitian yang telah selesai dan saran penulis kepada pembaca.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka pada bab ini disusun untuk memberikan dasar teoritis yang mendukung pelaksanaan dan arah penelitian. Pembahasan mencakup konsep mengenai alat *Stone Crusher* dan bagian-bagiannya, serta karakteristik limbah yang dihasilkan dari proses pemecahan batu. Selain itu, juga diuraikan peran jalan *hauling* dan *subgrade* dalam konstruksi jalan tambang, jenis-jenis perbaikan tanah dasar, serta syarat material yang digunakan dalam perbaikan *subgrade*. Bab ini juga membahas karakteristik fisik dan mekanis tanah yang berkaitan langsung dengan parameter uji laboratorium, seperti gradasi butiran, batas *Atterberg*, kadar air, kepadatan maksimum, nilai *CBR*, dan kadar lumpur. Untuk mendukung validitas pendekatan yang digunakan, juga disertakan beberapa hasil penelitian terdahulu sebagai referensi sekaligus pembandingan terhadap analisis yang dilakukan dalam studi ini.

2.1. Stone Crusher

Stone Crusher merupakan alat yang digunakan untuk menghancurkan batuan besar menjadi ukuran yang lebih kecil dengan beberapa ukuran yang berbeda-beda. Hasil dari pecahan batuan tersebut digunakan sebagai material konstruksi, seperti agregat untuk beton, jalan, timbunan, dan lain sebagainya. Terdapat beberapa macam peralatan pemecah batu, yaitu :

2.1.1. Jaw Crusher

Jaw Crusher adalah jenis crusher yang paling banyak digunakan untuk crusher primer. Jenis ini paling efektif digunakan untuk batuan sedimen sampai batuan yang paling keras seperti granit atau basalt.

2.1.2. Primary Impact Crusher

Primary Impact Crusher disarankan terutama untuk batu kapur atau untuk penggunaan dengan abrasi lebih rendah. *Single impeller impact breakers* menghasilkan produk yang bentuknya seperti kubus meskipun semula merupakan batu lempengan serta meningkatkan kualitas agregat dan mempertinggi kapasitas plant

2.1.3. Cone Crushers

Cone Crusher digunakan secara luas sebagai mesin pemecah batu sekunder dan tersier seperti halnya *jaw crusher* untuk pemecah batu primer. *Crusher* jenis *cone* merupakan mesin serba guna bagi kebanyakan pasir dan kerikil serta material yang memiliki ukuran butir asal (sebelum dipecah) 20-25 cm yang tidak memerlukan lagi *crusher primer*.

2.1.4. Horizontal Secondary Impact Crushers

Horizontal Secondary Impact Crushers menggabungkan kelebihan pemecah batu jenis impak dengan teknologi *high chrome*. *Crusher* impak sekunder menghasilkan produk berbentuk kubus (diperlukan pada spesifikasi yang saat ini semakin ketat) pada material yang sebelumnya sangat abrasif untuk proses impak.

2.1.5. Roll Crushers

Roll Crusher sangat diperlukan untuk menghasilkan produk dengan ukuran tertentu. *Crusher* jenis tekanan ini menghasilkan variasi pemecahan yang lebih besar dibanding jenis *crusher* lainnya.

2.1.6. Vertical Shaft Impact Crushers

Vertical Shaft Impact Crusher, sebagaimana *crusher* impak sekunder horizontal, *crusher* impak corong vertikal menggabungkan keunggulan impak dengan bahan logam bersepuh *high chrome*. Ini merupakan *crusher* akhir yang dapat menghasilkan produk berbentuk kubus .

2.1.7. Hammermills I Limemilis

Hammermills I Limemilis crusher jenis mill digunakan untuk batu kapur berkualitas tinggi, dengan kadar abrasif yang kurang dari 5%, menghasilkan jumlah besar material halus. *Hammermill* umumnya digunakan untuk pemecah sekunder yang dapat menerima *feed* material berukuran sampai dengan 20 cm dan memiliki rasio pemecahan 20 : 1.

Gambar 2.1 menunjukkan unit *Stone Crusher* yang digunakan dalam proyek IGP Bahodopi Block 2 & 3. Alat ini berperan penting dalam memproduksi agregat dari batuan besar menjadi ukuran yang lebih kecil untuk berbagai kebutuhan konstruksi.



Gambar 2.1. *Stone Crusher (IGP Bahodopi Block 2 & 3)*

2.2. Bagian-Bagian *Stone Crusher*

Alat *Stone Crusher* terdiri dari berbagai bagian dengan fungsi spesifik yang saling terintegrasi. **Gambar 2.2** memperlihatkan komponen utama dari alat tersebut.



Gambar 2.2. *Bagian-bagian Stone Crusher (IGP Bahodopi Block 2 & 3)*

2.2.1. *Feeders dan Hopper*

Feeder dan *hopper* merupakan bagian penting dari mesin pemecah batu sebagai penerima material yang akan diproses pada tahap selanjutnya. Fungsi utama feeder adalah mengatur aliran bahan batuan yang masuk ke dalam pemecah batu (*crusher*). Terdapat dua jenis *feeder*, yaitu *apron feeder* dan *mechanical* atau *reciprocating plate feeder*. *Apron feeder* umumnya digunakan untuk memasok batu belah (*rock*) ke *primary crusher*, dan merupakan *heavy duty construction* untuk menahan beban kejut dan batuan yang ditumpahkan. *Feeder* umumnya memiliki lebar antara 76,2 hingga 243,84 cm, dengan panjang sekitar dua

sampai tiga kali lipat dari lebarnya. Pengoperasiannya menggunakan motor berdaya 5–20 tenaga kuda, tergantung pada kapasitas yang dibutuhkan. Untuk material berukuran lebih halus, seperti pada *gravel pit*, biasanya digunakan jenis *mechanical* atau *reciprocating plate feeder*. Tipe *reciprocating plate* ini digerakkan oleh poros eksentrik yang terhubung ke motor dengan daya sekitar 3–20 tenaga kuda. Dalam perancangan, ukuran dan kecepatan feeder sebaiknya disesuaikan agar kapasitasnya lebih besar 25–35% dibandingkan kapasitas crusher, sehingga proses pengumpanan berjalan lancar tanpa menghambat kinerja unit pemecah batu.

2.2.2. Crusher

Crusher merupakan salah satu komponen utama dalam peralatan pemecah batu yang berfungsi untuk memecah serta mengecilkan ukuran material batu. Peralatan ini umumnya terdiri dari unit pemecah primer, yang jenisnya disesuaikan dengan kombinasi peralatan agregat yang digunakan. Pada tahap primer, tipe yang sering digunakan meliputi *jaw crusher*, *gyratory crusher*, *impactor*, atau *single roll crusher*, yang mampu memproses batu berukuran besar hingga sekitar 91,44–121,92 cm. Sementara itu, untuk batu berukuran lebih kecil, proses pemecahan dapat dilakukan menggunakan *twin roll crusher*, *triple roll crusher*, *cone crusher*, atau *hammermill*.

2.2.3. Conveyor atau Bucket Elevator

Conveyor atau *bucket elevator* merupakan bagian dari peralatan pemecah batu yang berfungsi memindahkan material secara langsung dari satu unit proses ke unit lainnya, atau menuju *stock pile*. Dalam satu unit conveyor, umumnya terdapat beberapa komponen utama seperti *conveyor belt*, *conveyor leg*, dan motor penggerak. Pada sistem pemecah batu, conveyor memiliki berbagai peran, di antaranya *joint conveyor* yang berfungsi sebagai penghubung atau perantara antarunit, *discharge conveyor* untuk mendistribusikan material ke *stock pile*, *feed conveyor* sebagai pemasok material ke unit berikutnya, serta *return conveyor* yang mengembalikan material untuk diproses atau dipecah kembali.

2.2.4. Screen (Ayakan)

Screen (Ayakan) adalah komponen pada peralatan pemecah batu yang berfungsi untuk menyaring/memisahkan, membentuk gradasi (*grading*), dan secara tidak langsung mengontrol penyaluran material ke unit *crusher* selanjutnya, *bin* atau *stock pile*. Tujuan utama *screening* adalah "*scalping*", yaitu untuk memindahkan *oversize* atau *undersize* material dalam unit *crusher*, atau untuk mendapatkan ukuran material (batu) yang dihasilkan. *Screen* pada unit *crusher* yang portabel biasanya terdiri 2 1/2 *deck* atau lapisan atau lembaran *screen* pada permulaan proses untuk mendapatkan initial input pada *deck* bagian atas. Posisi *deck* atau lembaran *screen* adalah paralel yang terpisah pada jarak yang cukup agar dapat menggerakkan material antara *deck*. Material yang tertahan pada *deck* bagian atas akan dipecah lagi oleh *primary crusher*, material yang lolos dari *deck* pertama dan yang tertahan pada *deck* bagian kedua akan dipecah oleh unit *crusher* selanjutnya. Untuk material berlebih yang halus (abu batu) akan melalui saringan paling bawah berukuran 1/2 *deck*.

2.3. Stone Crusher Waste

Waste menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) merupakan sisa proses produksi atau bahan yang tidak dan belum memiliki nilai ekonomis atau nilai guna dalam pembuatan dan pemakaian. Jadi bisa dikatakan bahwa *Stone Crusher Waste* adalah sisa material yang berasal dari proses pemecahan batu di *Stone Crusher* yang tidak lolos pada tahap seleksi di *Hopper* sebelum proses *crushing*. Material ini berupa campuran partikel kasar dan halus yang tidak memenuhi ukuran agregat standar konstruksi. Berdasarkan penelitian Musper David Soumokil (2025), *waste* ini memiliki potensi besar dipakai sebagai material timbunan *subgrade* karena karakternya yang cukup baik untuk mendukung beban konstruksi jalan. Menurut Sulha dkk. (2025) dalam Jurnal Media Konstruksi, penggunaan *waste* sebagai material alternatif dapat menghemat biaya sekaligus ramah lingkungan, sembari tetap menjaga kualitas konstruksi asalkan memenuhi standar nilai *CBR*.



Gambar 2.3. Material *Stone Crusher Waste*

2.4. Jalan Hauling

Jalan *Hauling* merupakan salah satu prasarana dalam proses penambangan untuk menghubungkan lokasi-lokasi penting, diantaranya adalah lokasi tambang menuju ke pelabuhan *stockpile*, perkantoran, pabrik pengolahan bahan galian (*smelter*), perumahan karyawan dan tempat-tempat lain di area penambangan (Anwar H. dkk, 2020). Dalam operasional penambangan jalan *hauling* yang baik dapat mendukung kinerja alat angkut yang melaluinya (Purwanti D.I. dkk, 2023).

Ketentuan-ketentuan Jalan *Hauling* diatur oleh Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Kepmen ESDM) No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Jalan *hauling* dirancang secara khusus untuk mendukung aktivitas pengangkutan material tambang dalam jumlah besar dan berat, dengan memperhatikan aspek keselamatan, keandalan struktur, serta efisiensi dalam operasional di lapangan.

Dalam ketentuan ini dijelaskan bahwa jalan *hauling* wajib memenuhi sejumlah persyaratan teknis, seperti :

1. Lebar jalan *hauling*:
 - Minimal 3,5 kali dari lebar kendaraan angkut yang paling besar untuk jalan dengan sistem 2 (dua) arah.
 - Minimal 2 kali lebar kendaraan angkut yang paling besar untuk jalan dengan sistem 1 (satu) arah.
 - Untuk jalan yang melintasi jembatan, lebar jalan mengacu pada ketentuan di atas.
2. Tanggul pengaman:
 - Harus tersedia di badan jalan pada bagian sisi luar.

- Tinggi tanggul paling sedikit $\frac{3}{4}$ (tiga per empat) dari ukuran roda kendaraan yang terbesar.
 - Dirancang untuk menahan limpasan air dan material lepas yang berpotensi masuk ke badan jalan.
3. Tipe jalan *boxcut*:
- Tanggul pengaman dapat tersedia atau tidak, disesuaikan dengan kondisi.
 - Jika berpotensi terjadi longsor atau material lepas, maka lereng harus diperkuat.
4. Drainase jalan:
- Sistem penyaliran harus mampu menampung debit air permukaan tertinggi.
 - Drainase wajib dijaga agar tetap berfungsi secara optimal sepanjang waktu.
5. Kemiringan melintang (*cross fall*):
- Kemiringan minimum permukaan jalan adalah 2% untuk memastikan air tidak menggenang.
6. Kemiringan memanjang (*grade*) jalan:
- Tidak boleh melebihi 12%, kecuali dilakukan kajian teknis.
 - Penentuan grade mempertimbangkan:
 - Spesifikasi kendaraan angkut.
 - Jenis material perkerasan jalan.
 - Efisiensi penggunaan bahan bakar (fuel ratio).
7. *Grade* lebih dari 12%:
- Wajib dilengkapi dengan kajian teknis yang mencakup:
 - o Analisis risiko.
 - o Spesifikasi teknis alat angkut.
 - o Spesifikasi teknis konstruksi jalan.
8. Tikungan jalan:
- Radius tikungan, lebar jalan, dan super elevasi harus disesuaikan agar mampu menahan gaya sentrifugal kendaraan saat melintas.
 - Kecepatan kendaraan harus diperhitungkan dalam perencanaan tikungan.
9. Separator di tikungan dan persimpangan:
- Harus dipasang pada setiap tikungan atau persimpangan.

- Tinggi minimal separator adalah setengah diameter roda kendaraan terbesar.
 - Lebar bagian atas separator minimal sama dengan lebar roda kendaraan.
10. Sudut belokan:
- Sudut minimum pada percabangan jalan tidak boleh kurang dari 70° untuk menjaga kelancaran manuver kendaraan besar.
11. Daya dukung jalan:
- Kekuatan jalan harus melebihi beban statis maksimum dari kendaraan dan muatannya.
 - Perlu didasarkan pada hasil kajian teknis dalam rentang waktu tertentu.
12. Pemeliharaan jalan:
- Jalan hauling harus rutin dirawat agar tidak menghambat aktivitas pengangkutan dan tetap layak operasional.



Gambar 2.4. Jalan *Hauling*

2.5. Subgrade dan Perannya dalam Konstruksi Jalan

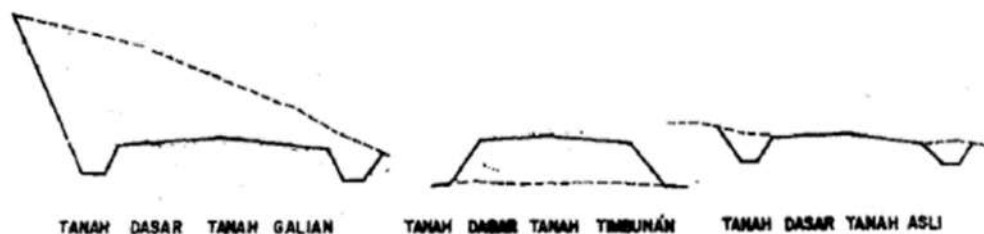
Subgrade adalah permukaan tanah semula atau tanah asli, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Pemadatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana. Hal ini dapat dicapai dengan perlengkapan dan sistem drainase yang memenuhi syarat (Sukirman, 1999). Beban kendaraan yang dilimpahkan ke lapisan perkerasan melalui roda-roda kendaraan selanjutnya disebarkan ke lapisan-lapisan di bawahnya dan terakhir diterima oleh tanah dasar.

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

1. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) akibat beban lalu lintas.
2. Sifat mengembang dan menyusutnya tanah akibat perubahan kadar air.
3. Daya dukung tanah yang tidak merata akibat adanya perbedaan sifat-sifat tanah pada lokasi yang berdekatan atau akibat kesalahan pelaksanaan misalnya kepadatan yang kurang baik.

Tanah dasar (*subgrade*) apabila ditinjau dari muka tanah asli, maka tanah dasar ini dibedakan menjadi 3, yaitu :

1. Lapisan tanah dasar tanah asli.
2. Lapisan tanah dasar tanah galian.
3. Lapisan tanah dasar tanah timbunan.



Gambar 2.5. Jenis tanah dasar dari muka tanah asli (Sumber: Sukirman, 1999)

2.6. Jenis Perbaikan *Subgrade*

Dalam upaya memperbaiki parameter tanah, maka berbagai teknik perbaikan tanah telah dihasilkan oleh para rekayasawan (engineer). Berbagai jenis perbaikan tanah yang telah dikembangkan selama ini, antara lain (Dr. Ir. H. Darwis, 2017) :

1. Perbaikan tanah dengan semen (*soil cement*) adalah metode stabilisasi tanah dengan menambahkan semen sebagai bahan pencampur, bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilan tanah.
2. Perbaikan tanah dengan kapur (*soil lime*) dilakukan dengan mencampurkan kapur ke dalam tanah yang memiliki daya dukung rendah. Teknik ini dikenal sebagai salah satu metode tertua yang telah digunakan sejak era Romawi Kuno, ketika kebutuhan mobilisasi peralatan perang dan pasukan meningkat seiring meluasnya wilayah kekuasaan mereka.

3. Perbaikan tanah dengan abu (*soil ash*) memanfaatkan abu sebagai bahan campuran, yang dapat berasal dari abu batu, abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi, dan jenis abu lainnya.
4. Perbaikan tanah dengan larutan kimia (*solvent stabilization*) dilakukan menggunakan berbagai bahan kimia yang berfungsi meningkatkan parameter teknis tanah. Bahan yang sering digunakan antara lain larutan soda kaustik (NaOH), asam sulfat (H₂SO₄), serta berbagai cairan aditif lain yang telah dikembangkan oleh produsen untuk meningkatkan stabilitas tanah.
5. Perbaikan tanah dengan pemadatan adalah proses pemberian energi tumbukan atau getaran (*dynamic load*) secara langsung pada tanah yang gembur, dengan tujuan meningkatkan daya dukung, kekuatan geser, mengurangi penurunan, serta menurunkan permeabilitas tanah.
6. Perbaikan tanah dengan konsolidasi dilakukan dengan memberi beban statis (*static load*) langsung pada lapisan tanah sebelum konstruksi dimulai. Pemberian beban awal ini dikenal dengan istilah *preloading*, biasanya menggunakan beban yang lebih besar daripada beban konstruksi yang akan bekerja. Tujuan metode ini mirip dengan pemadatan, namun prosesnya memerlukan waktu lebih lama karena menggunakan pembebanan statis.
7. Perbaikan tanah dengan teknik pengeringan (*dewatering*) bertujuan meningkatkan daya dukung tanah melalui penurunan kadar air, sehingga tegangan efektif tanah meningkat. Teknik ini umumnya memanfaatkan saluran pasir vertikal (*sand drain*) yang dirancang agar air dalam tanah dapat keluar baik secara vertikal (*sand vertical drain*) maupun horizontal (*sand horizontal drain*).
8. Perbaikan tanah dengan penggantian tanah (*replacement*) dilakukan dengan menambah material tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang optimal, sehingga diperoleh gradasi yang lebih padat dan parameter teknis yang lebih baik.
9. Perbaikan tanah dengan permeation resin adalah pengaliran bahan perekat (resin) yang memiliki viskositas rendah ke dalam pori-pori tanah tanpa

mengubah struktur pada tanah. Busa atau gel yang dihasilkan oleh aliran perekat resin akan memodifikasi karakteristik tanah.

10. Perbaikan tanah dengan bahan limbah (*waste mix*) adalah perbaikan tanah dengan menggunakan material limbah sebagai bahan pencampur ke dalam lapisan tanah yang memiliki daya dukung kecil seperti lapisan tanah gambut atau lempung lunak lainnya.

2.7. Material Perbaikan *Subgrade*

Berbagai material dapat digunakan untuk memperbaiki *subgrade*, tergantung pada jenis tanah, dan tingkat kerusakannya. Material yang digunakan untuk perbaikan *subgrade* harus memenuhi persyaratan tertentu agar dapat berfungsi dengan baik. Berdasarkan standar SNI 03-1744-2002, adapun syarat yang harus dipenuhi diantaranya :

1. Kadar air tidak boleh melebihi batas yang ditentukan. Untuk tanah liat, kadar air maksimum biasanya tidak lebih dari 10%, sedangkan untuk pasir, kadar air maksimum sebaiknya tidak lebih dari 5%.
2. Kepadatan harus mencapai kepadatan minimum yang ditentukan, misalnya 95% dari kepadatan maksimum. Untuk mengetahui nilai kepadatan ini biasanya dilakukan melalui pengujian *Proctor*.
3. Kohesi dan kekuatan geser harus memenuhi nilai minimum agar bisa menahan beban lalu lintas, misalnya 25 kPa untuk tanah liat.
4. Ukuran butir harus memiliki distribusi ukuran yang sesuai. Untuk tanah umumnya harus memiliki lebih dari 30% butiran yang lebih besar dari 0,075 mm dan tidak lebih dari 10% butiran yang lebih besar dari 20 mm.
5. Material harus memiliki stabilitas dalam kondisi basah ataupun kering agar material tidak mengalami penurunan seiring waktu.
6. Material harus memiliki kemampuan drainase yang baik agar mampu mengalirkan air guna mencegah akumulasi air yang dapat merusak struktur *subgrade*.
7. Pengujian material di laboratorium untuk memastikan bahwa material tersebut memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Pengujian yang diperlukan

termasuk analisis saringan, pengujian kadar air, pengujian kepadatan, dan pengujian kekuatan geser.

Berikut adalah beberapa material yang dapat digunakan untuk perbaikan *subgrade* berdasarkan tiga kategori utama :

A. Material Granular

Material granular, seperti pasir, kerikil, dan batu pecah, sering digunakan untuk meningkatkan daya dukung dan drainase *subgrade*.

1. Pasir adalah material yang terdiri dari butiran kasar dengan ukuran antara 0,075 mm hingga 4,75 mm. Pasir dapat digunakan untuk meningkatkan drainase dan mengurangi plastisitas tanah lempung. Namun, pasir memiliki daya dukung yang relatif rendah dan rentan terhadap erosi (Holtz & Kovacs, 1981). Pasir dapat mengalami pergeseran apabila tidak dipadatkan dengan baik (SNI 03-2461-1991).
2. Kerikil atau agregat adalah material yang terdiri dari butiran batuan dengan ukuran lebih besar dari 4,75 mm. Agregat ini sering digunakan dalam campuran perbaikan *subgrade* karena memiliki daya dukung yang lebih baik daripada pasir dan dapat digunakan untuk meningkatkan stabilitas *subgrade*. Agregat juga memiliki kemampuan drainase yang baik (Das, 2010).

B. Material Stabilisasi Kimia

Material stabilisasi kimia digunakan untuk mengubah sifat-sifat tanah melalui reaksi kimia. Material ini meliputi:

1. Semen adalah material stabilisasi kimia yang paling umum digunakan. SNI 03-6861-2010 menyebutkan bahwa penambahan semen pada tanah dapat meningkatkan sifat mekanis tanah, termasuk kekuatan geser dan modulus elastisitasnya. Namun semen ini memiliki kekurangan karena biayanya yang lebih tinggi serta perlunya waktu pengerasan yang cukup untuk mencapai tingkat kekuatan yang diharapkan.
2. Kapur (kalsium oksida atau kalsium hidroksida) digunakan untuk menstabilkan tanah lempung. Kapur bereaksi dengan tanah lempung untuk

mengurangi plastisitas, meningkatkan daya dukung, dan mengurangi potensi pengembangan (Eades & Grim, 1966).

3. *Fly ash* adalah produk sampingan dari pembakaran batubara di pembangkit listrik. *Fly ash* dapat digunakan sebagai material stabilisasi kimia untuk meningkatkan daya dukung dan mengurangi plastisitas tanah. *Fly ash* juga merupakan material yang ramah lingkungan karena memanfaatkan *waste* industri (Kumar dan Singh, 2018).
4. Bitumen (aspal), dapat digunakan untuk menstabilkan tanah berpasir. Bitumen melapisi partikel tanah dan mengikatnya bersama-sama, meningkatkan daya dukung dan mengurangi erosi (SNI 03-2489-2002).

C. Geosintetik

Geosintetik adalah material sintetis yang digunakan untuk berbagai kegiatan konstruksi, termasuk perbaikan *subgrade*. Jenis-jenis geosintetik yang umum digunakan meliputi:

1. Geotekstil, adalah kain permeabel yang digunakan untuk pemisahan, filtrasi, drainase, dan perkuatan tanah. Geotekstil dapat digunakan untuk mencegah pencampuran antara *subgrade* dan lapisan pondasi di atasnya, meningkatkan drainase, dan memperkuat *subgrade* (Koerner, 2005).
2. Geogrid, adalah jaring polimer yang digunakan untuk memperkuat tanah. Geogrid dapat meningkatkan daya dukung dan stabilitas *subgrade* dengan mengunci partikel tanah dan mendistribusikan beban (Giroud & Noiray, 1981).
3. Geomembran, adalah lembaran impermeabel yang digunakan untuk mencegah infiltrasi air ke dalam *subgrade*. Geomembran dapat digunakan untuk melindungi *subgrade* dari kerusakan akibat air dan mencegah *frost action* (Daniel, 1994).

2.8. Karakteristik Tanah

Untuk mengetahui karakteristik tanah, biasanya dilakukan klasifikasi tanah yaitu dengan mengelompokkan tanah berdasarkan sifat dan ciri tanah yang sama atau hampir sama kemudian diberi nama agar mudah dipahami serta dibedakan dengan

tanah lainnya. Masing-masing jenis tanah mempunyai ciri dan sifat tersendiri yang tidak sama dengan jenis tanah yang lain.

2.8.1. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan hasil analisis distribusi ukuran butir dan penentuan batas-batas Atterberg, tanah dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori sesuai dengan sistem klasifikasi tanah. Salah satunya adalah *USCS (Unified Soil Classification System)*.

1. Sistem *USCS (Unified Soil Classification System)*.

Sistem USCS dikembangkan oleh Casagrande pada masa Perang Dunia II untuk keperluan teknik di kesatuan teknik Angkatan Darat Amerika Serikat. Pada tahun 1969, metode ini diadopsi sebagai standar klasifikasi tanah oleh *American Society for Testing and Materials (ASTM)* melalui standar ASTM D2487.

Dalam sistem USCS, tanah dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) dan tanah berbutir halus (*fine-grained soils*)., yaitu :

- a. Bergradasi baik dan cukup bersih artinya hanya memiliki material berbutir halus yang sedikit, dinotasikan W (*well graded*).
- b. Memiliki gradasi buruk dan material yang cukup bersih, dinotasikan P (*poorly graded*).
- c. Memiliki gradasi yang baik dengan material pengikat (lempung) dinotasikan C (*clay*).
- d. Memiliki butiran yang kasar dan memiliki kandungan tanah berbutir halus, dinotasikan M (silt).

Pembagian tanah berbutir halus sebagai berikut :

- a. Tanah lanau anorganik (tidak memiliki kandungan material organik) dan kandungan pasir yang berbutir sangat halus pada tanah, dinotasikan M (silt).
- b. Tanah lempung Anorganik dinotasikan C (*clay*).
- c. Tanah lanau dan lempung organik dinotasikan O (*organic*).

- d. Tanah dengan kadar organik sangat tinggi dinotasikan Pt (peat).

Ketiga golongan berbutir halus itu dibagi lagi kedalam beberapa golongan berdasarkan batas cairnya, yaitu :

- a. Batas cair $< 50 \%$, dikelompokkan pada kategori tanah berbutir halus dengan kompresibilitas rendah hingga sedang dinotasikan L (low compressibility).
- b. Batas cair $> 50 \%$, dikelompokkan pada kategori tanah berbutir halus dengan kompresi bilitas tinggi dinotasikan H (high compressibility).

2. Sistem AASHTO.

Selama perang dunia kedua, Casagrande mengembangkan system klasifikasi ini untuk kesatuan *Engineering* Angkatan Darat Amerika, dan Sistem ini diadopsi oleh *American Society and Materials* (ASTM) pada tahun 1969 sebagai metode standar dalam pengklasifikasian tanah (ASTM 2487).

Sistem ini dibuat oleh American Association of state Highway and Transportation Officials, terutama dikembangkan untuk menganalisa material *subgrade* dalam pembangunan jalan raya. Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini ditunjukkan pada tabel (2). Pada system ini tanah diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar, yaitu kelompok A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dengan kandungan butiran halus yang lolos ayakan No.200 tidak lebih dari 35%. Jika persentase butiran yang melewati ayakan tersebut melebihi 35%, tanah tersebut masuk ke dalam kelompok A-4 hingga A-7. Jenis tanah pada kelompok A-4 sampai A-7 umumnya terdiri dari lanau dan lempung sebagai komponen utama. Sistem pengelompokan ini disusun berdasarkan kriteria ukuran butir yang akan dijabarkan sebagai berikut:

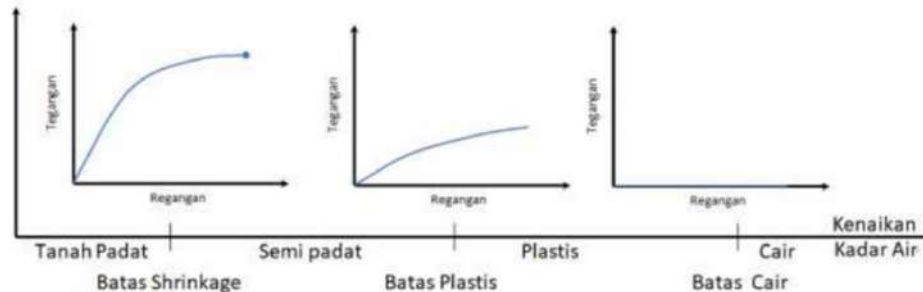
- a. Kerikil : bagian tanah yang lolos saringan dengan ukuran diameter 75 mm (3 in) yang tertahan pada saringan No. 20 (2 mm).
- b. Pasir : bagian tanah yang lolos saringan No. 12 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No.200 (0.075 mm).

c. Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No.200.

Nama berlanau dipakai apabila bagian bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai jika bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan didalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut dikeluarkan terlebih dahulu .Tetapi persentasi dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

2.8.2. Batas Atterberg

Batas Atterberg merupakan metode yang digunakan untuk menentukan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Menurut Mulyono (2017), pada kadar air yang sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Air yang dikandung tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu: padat, semi padat, plastis, dan cair (Gambar 2).



Gambar 2.6. *Atterberg limits*

Dua nilai yang terpenting adalah nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Dalam sebagian besar studi yang meneliti tanah berbutir halus, pengukuran nilai batas-batas ini dilakukan secara berkala. Uji batas Atterberg tersebut hanya dilakukan pada bagian tanah yang lolos melalui ayakan No.40.

a. Batas Cair (Liquid Limit)

Dalam uji *Liquid Limit*, data yang diperoleh berupa jumlah pukulan dan kadar air. Nilai-nilai tersebut kemudian diplot dalam grafik, dengan jumlah pukulan pada sumbu mendatar menggunakan skala logaritma, sedangkan kadar air pada sumbu tegak menggunakan skala linear. Garis

lurus ditarik melalui titik-titik hasil pengujian. Apabila titik-titik tersebut tidak sejajar pada satu garis, digunakan garis melalui titik beratnya. Nilai kadar air yang bersesuaian dengan 25 pukulan pada grafik ini ditetapkan sebagai batas cair (*liquid limit*) dari spesimen yang diuji.

b. Batas Plastis (Plastic Limit)

Menurut SNI-03-1966-1990, batas plastis adalah titik transisi di mana tanah berubah dari fase plastis ke fase semi padat. Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai batas plastis tanah, yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan tipe, sifat fisik, serta klasifikasinya.

$$\text{Indeks Plastisitas (PI)} = \text{LL} - \text{PL}$$

2.8.3. Kadar Air

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kadar air dalam tanah. Kadar air tanah didefinisikan sebagai rasio antara berat air yang terkandung di dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut, dinyatakan dalam persentase.

2.8.4. Berat Jenis

Pengujian berat jenis bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis tanah yang butirannya lolos saringan nomor 4, menggunakan alat piknometer. Berat jenis diartikan sebagai perbandingan antara massa tanah kering dengan massa air suling yang volumenya setara dengan volume tanah dalam kondisi jenuh pada suhu tertentu.

2.8.5. Kadar Lumpur

Kadar lumpur merupakan persentase partikel halus berukuran $< 0,075$ mm (lolos saringan No. 200) dalam tanah atau agregat. Kandungan lumpur yang tinggi dapat mempengaruhi sifat fisik tanah, seperti kepadatan, kohesi, dan kemampuan drainase (SNI 03-4142-1996). Menurut SNI S-04-1989-F, batas maksimum kadar lumpur dalam agregat halus adalah 5% dan agregat kasar adalah 1%.

Dalam konteks timbunan subgrade jalan *hauling*, kadar lumpur yang tinggi dapat menyebabkan lemahnya daya dukung tanah dan menurunnya nilai CBR. Hal ini berpotensi mempercepat deformasi, terutama saat tanah dalam kondisi jenuh air atau mengalami beban berulang dari kendaraan tambang. Lumpur yang melekat pada agregat juga dapat menghambat ikatan antarbutir, sehingga struktur timbunan menjadi tidak stabil (Hardiyatmo, 2014).

Oleh karena itu, pengujian kadar lumpur perlu dilakukan untuk memastikan bahwa material timbunan, termasuk campuran tanah dan limbah stone crusher, memenuhi syarat teknis subgrade yang aman dan stabil.

2.8.6. Analisis Saringan

Menurut Hidayat dkk. (2021) analisis saringan adalah pengelompokkan besar butir analisis agregat kasar dan agregat halus menjadi komposisi gabungan yang ditinjau berdasarkan saringan, agregat halus dan agregat kasar dilakukan untuk mengetahui batas gradasi agregat tersebut. Gradasi agregat itu sendiri merupakan susunan butir agregat berdasarkan ukurannya, yang sangat berpengaruh pada kualitas perkerasan (Sulistyo dkk., 2024)

Berdasarkan SNI ASTM C136:2012, metode uji ini digunakan untuk menentukan gradasi material berupa agregat. Hasil tersebut biasanya digunakan untuk menentukan pemenuhan ukuran distribusi partikel dengan syarat-syarat spesifikasi yang dapat dipakai dan untuk menyediakan data penting dalam mengatur produksi dari berbagai macam agregat dan campuran yang mengandung agregat.

Berat minimum untuk bahan uji agregat halus setelah kering minimum 300 gram, sedangkan untuk agregat kasar harus sesuai dengan Tabel 1:

Tabel 2.1. Berat minimum contoh uji agregat kasar (SNI ASTM C136:2012)

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

Jumlah contoh uji pada saringan dibatasi sehingga semua butiran mempunyai kesempatan untuk mencapai bukaan saringan selama waktu pelaksanaan penyaringan.

Tabel 2.2. Batas maksimum massa yang diizinkan tertahan pada saringan, kg (SNI ASTM C136:2012)

Bukaan saringan mm	Dimensi nominal saringan ^a				
	203,2 mm Diameter ^b	254 mm Diameter ^b	304,8 mm Diameter ^b	(350 x 350) mm	(372 x 580) mm
	Luas bidang penyaringan, m ²				
	0,0285	0,0457	0,0670	0,1225	0,2158
125	c	c	c	c	67,4
100	c	c	c	30,6	53,9
90	c	c	15,1	27,6	48,5
75	c	8,6	12,6	23,0	40,5
63	c	7,2	10,6	19,3	34,0
50	3,6	5,7	8,4	15,3	27,0
37,5	2,7	4,3	6,3	11,5	20,2
25,0	1,8	2,9	4,2	7,7	13,5
19,0	1,4	2,2	3,2	5,8	10,2
12,5	0,89	1,4	2,1	3,8	6,7
9,5	0,67	1,1	1,6	2,9	5,1
4,75	0,33	0,54	0,80	1,5	2,6

Perhitungan Jumlah contoh uji maksimum yang diizinkan tertahan pada saringan diperhitungkan dengan $2,5 \times [\text{bukaan saringan, mm} \times (\text{luas efektif bidang saringan, m}^2)]$ dalam satuan kg.

^a Dimensi bingkai saringan dalam satuan inci: diameter 8,0 inci.; diameter 10,0 inci.; diameter 12,0 inci.; 13,8 x 13,8 inci (nominal 14 inci x 14 inci); 14,6 inci x 22,8 inci (nominal 16 inci x 24 inci).

^b Bidang saringan lingkaran didasarkan pada diameter efektif 12,7 mm (1/2 inci) kurang dari diameter nominal bingkai karena M 92 mengizinkan perekat antara kain saringan dan bingkai sampai 6,35 mm (1/4 inci) melebihi kain saringan. Diameter efektif penyaringan untuk diameter bingkai saringan 203,2 mm (8,0 inci) adalah diameter bingkai saringan 190,5 mm (7,5 inci). Pada beberapa produk saringan perekatnya mungkin tidak penuh 6,35 mm (1/4 inci).

^c Menandai saringan yang memiliki kurang dari lima bukaan penuh yang tidak boleh digunakan untuk pengujian saringan.

Massa setiap ukuran dari contoh uji awal dapat dihitung sebagai berikut (SNI ASTM C136:2012):

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- A : massa setiap ukuran pada jumlah contoh uji total;
- W1 : massa setiap fraksi yang lolos saringan saringan 4,75 mm (No.4)
- W2 : massa bagian yang berkurang pada contoh uji lolos saringan 4,75 mm (No. 4) yang disaring, dan
- B : jumlah massa agregat halus dari agegat gabungan.

2.8.7. California Bearing Ratio (*CBR*)

Menurut Lesama dkk. (2013) pengujian *CBR* merupakan salah satu cara yang digunakan untuk menentukan kekuatan tanah dasar pada pembangunan jalan. Uji *CBR* dikembangkan pertama kali oleh California State Highway Department. California Bearing Ratio (*CBR*) menurut Bina Marga sendiri adalah rasio dari gaya perlawanan penetrasi (*penetration resistance*) dari tanah pada sebuah piston yang ditekan secara kontinu terhadap gaya perlawanan penetrasi serupa pada contoh tanah standar berupa batu pecah di California. Rasio tersebut diambil pada penetrasi 2.5 dan 5.0 mm (0.1 dan 0.2 inch) dengan ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Tujuan pengujian ini adalah untuk menilai kekuatan tanah dasar yang dikompaksi di laboratorium yang akan digunakan dalam perancangan perkerasan. Hasil percobaan dinyatakan sebagai nilai *CBR* (dalam %) yang nantinya digunakan untuk menentukan tebal perkerasan.

Dalam penelitian ini, nilai *CBR* untuk tanah dasar (*subgrade*) ditetapkan minimal sebesar 4%. Jika nilai *CBR* yang diperoleh kurang dari batas tersebut, maka tanah harus diperbaiki atau dipadatkan kembali. Apabila setelah perbaikan nilai *CBR* masih belum memenuhi standar, perlu dilakukan penggantian tanah dengan material yang diambil dari lokasi lain yang memiliki kualitas lebih baik. Nilai *CBR* yang didapatkan akan menjadi acuan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan jalan.

Berdasarkan cara mendapatkan sampel tanahnya, *CBR* dibagi menjadi 2 yaitu :

1. *CBR* Lapangan

Merupakan pengujian yang dilakukan secara langsung di lokasi untuk memperoleh nilai *CBR* yang digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan jalan. Selain itu, *CBR* lapangan juga berfungsi sebagai alat kontrol mutu kepadatan agar sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Pelaksanaannya membutuhkan peralatan berat, seperti excavator. Menurut Sukirman (1999), *CBR* didefinisikan sebagai perbandingan antara beban yang diperlukan untuk penetrasi contoh tanah sedalam 0,1” atau 0,2” dengan beban yang mampu ditahan batu pecah standar pada penetrasi yang sama. Dalam uji *CBR* lapangan, ketelitian sangat diperlukan untuk memastikan pembacaan penurunan sesuai dengan kedalaman penetrasi dan waktu pengujian.

2. *CBR* Laboratorium

CBR laboratorium Merupakan pengujian yang membandingkan beban penetrasi suatu material standar dengan kedalaman dan laju penetrasi serupa. Seluruh proses, termasuk pemadatan tanah, dilakukan di laboratorium.. Pengujian ini biasanya digunakan untuk perencanaan jalan baru atau lapangan terbang. *CBR* laboratorium dibagi menjadi 2 yaitu Uji Basah (*Soaked*) dan Uji Kering (*Unsoaked*).

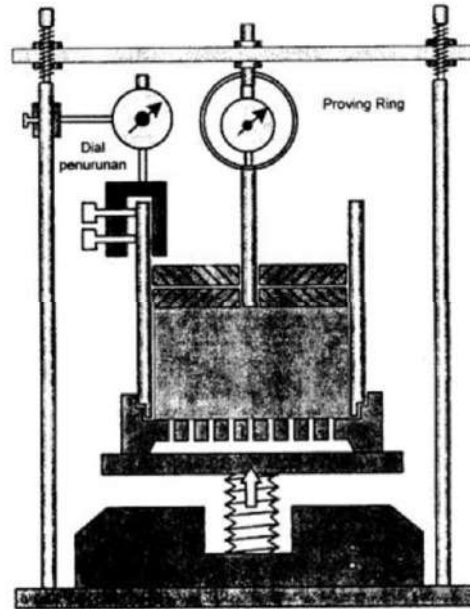
Penentuan nilai *CBR* dilaksanakan terhadap contoh tanah yang sudah dipadatkan dengan pemadatan standar. Hasil pengujian didapat dengan mengukur beban pada penetrasi tertentu. Semakin tinggi nilai *CBR* tanah maka semakin baik tanah untuk menjadi dasar perkerasan jalan. Berlaku sebaliknya, semakin kecil nilai *CBR* maka semakin cepat juga konstruksi jalan yang dibangun di atasnya akan rusak. Nilai *CBR* juga digunakan untuk menentukan tebal tipis perkerasan. Besarnya penetrasi sebagai dasar menentukan *CBR* adalah penetrasi 0,1 inch dan 0,2 inch dan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3 berikut :

1. Penetrasi 0,1” (2,54 mm)

$$R_s = \frac{\text{gaya penetrasi } 0,1''}{3 \times 1000} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

2. Penetrasi 0.2'' (5,08 mm)

$$R_s = \frac{\text{gaya penetrasi } 0,2''}{3 \times 1500} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.7. Alat uji *CBR* di laboratorium (Sumber : Budi, 2011)

Jika pada penetrasi 0,1'' nilai standar *unit load* ditetapkan sebesar 1000 psi, maka untuk kedalaman penetrasi 0,3'', 0,4'', dan 0,5'' harga standarnya adalah 1900 psi, 2300 psi, dan 2600 psi secara berurutan. Nilai beban (load) diperoleh melalui hasil pembacaan dial penetrasi yang kemudian dikonversi menggunakan grafik kalibrasi *proving ring*. Besar *test unit load* (psi) setara dengan nilai tegangan (σ).

2.9. Penelitian terdahulu yang sejenis

Penelitian sebelumnya menjadi acuan penting dalam mendukung arah dan metode kajian yang dilakukan. Studi-studi terdahulu telah banyak mengeksplorasi pemanfaatan material limbah, termasuk *Stone Crusher Waste* sebagai alternatif material timbunan maupun stabilisasi tanah. Hasil-hasil tersebut memberikan gambaran awal mengenai karakteristik fisik dan mekanik material limbah, serta efektivitasnya dalam meningkatkan daya dukung tanah dasar berdasarkan parameter teknis seperti nilai CBR, indeks plastisitas, dan kepadatan maksimum. Dengan mencantumkan dan merujuk penelitian terdahulu secara tepat, penulisan tugas akhir ini tidak hanya memperoleh pijakan ilmiah yang kuat, tetapi juga menghindari praktik plagiarisme serta menunjukkan sikap akademik yang etis. **Tabel 2.3** berikut menyajikan ringkasan beberapa penelitian relevan yang dijadikan referensi sekaligus pembanding dalam mendukung analisis dan pembahasan penelitian ini.

Tabel 2.3. Rangkuman Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode	Variabel	Hasil
1	Sulha, F.A.M. Rustamin, W. Mustika (2025)	Inovasi Material Limbah Crusher untuk Meningkatkan Daya Dukung Lapis Pondasi Bawah Konstruksi Jalan	Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui uji laboratorium secara menyeluruh, termasuk analisis distribusi ukuran butir, pemadatan Proctor modifikasi, batas Atterberg, ketahanan abrasi, dan uji CBR dalam kondisi jenuh.	Persentase campuran limbah crusher (60%) dan batu pecah alami (40%), nilai CBR, dan modulus elastisitas sebagai indikator kekuatan mekanik subgrade.	Komposisi campuran limbah menghasilkan nilai CBR sebesar 62,45% dan modulus elastisitas sebesar 247,99 MPa, yang keduanya melampaui standar nasional untuk lapisan pondasi bawah jalan berkapasitas tinggi.
2	Fitria Handayani (2019)	Manfaat Limbah Abu Batu sebagai Tambahan Material Bahan Bangunan	Penelitian eksperimental yang menguji penggunaan limbah abu batu sebagai bahan pengganti agregat halus pada beton mutu menengah, paving block, aspal, dan SCC, dengan variasi kadar dan fungsi filler.	Kadar substitusi abu batu (20%–40%), kuat tekan beton, efisiensi biaya, dan pengaruh terhadap stabilitas aspal.	Penggunaan abu batu sebagai filler pada beton dan paving block terbukti mampu menekan biaya bahan baku hingga 22% dan meningkatkan kuat tekan sebesar 3,5% pada SCC.

No	Peneliti	Judul	Metode	Variabel	Hasil
3	Nanda Dwi Wahyuni dkk. (2021)	Kinerja Fly Ash terhadap Stabilisasi Tanah Lunak sebagai Material Perbaikan Tanah Dasar (Subgrade)	Penelitian laboratorium dengan metode eksperimental yang melibatkan variasi kadar fly ash dan lama pemeraman terhadap tanah lunak untuk mengevaluasi perbaikan karakteristik fisik dan mekanik.	Komposisi fly ash (0%, 5%, 10%, 15%), waktu curing (0–14 hari), nilai CBR, dan perubahan indeks plastisitas.	CBR meningkat secara signifikan hingga 23,89% dengan penambahan 15% fly ash dan pemeraman selama 14 hari, serta penurunan indeks plastisitas dari 28,19% menjadi 9,02%.
4	Agate dkk. (2024)	Performance of Expansive Soil Stabilized with Bamboo Charcoal, Quarry Dust, and Lime	Penelitian dilakukan melalui eksperimen tiga tahap, yaitu kombinasi bamboo charcoal (BC), quarry dust (QD), dan lime dalam berbagai rasio, dengan pengujian Atterberg, CBR, dan SEM.	Kandungan kombinasi stabilisasi (BC:QD:Lime), CBR, indeks plastisitas (PI), kadar air optimum dan kepadatan maksimum.	Kombinasi terbaik (20% BC, 12% QD, dan 5% Lime) menghasilkan CBR sebesar 19%, dengan penurunan PI hingga 11,2%.
5	Brillian Sijabat & Ellyza Chairina (2024)	Pemanfaatan Abu Batu Stone Crusher sebagai Substitusi Agregat Halus pada Beton	Eksperimen kuat tekan beton dengan variasi kadar abu batu dalam campuran sebagai pengganti pasir alami, menggunakan silinder uji dan metode curing standar.	Persentase abu batu dalam campuran (20% dan 30%) serta pengaruhnya terhadap kekuatan tekan beton umur 28 hari.	Hasil kuat tekan beton dengan substitusi 30% abu batu melebihi persyaratan standar mutu beton f'c 22 MPa.
6	Musper D. Soumokil (2015)	Analisa Karakteristik Agregat Halus (Limbah Stone Crusher) sebagai Bahan Campuran Beton	Kajian laboratorium terhadap karakteristik fisik material abu batu serta kuat tekan hasil campuran beton, mengacu pada standar SNI dan ASTM.	Gradasi, berat jenis, kadar lumpur dan air; kuat tekan beton K-225.	Material abu batu memenuhi kriteria gradasi dan kuat tekan beton f'c sebesar 236,82 kg/cm ² .
7	Wang dkk. (2021)	Study on Performance Tests and the Application of Construction Waste as Subgrade Backfill	Eksperimen laboratorium pada campuran construction waste dengan fly ash dan lime, melibatkan pengujian CBR, kekuatan geser, dan variasi ukuran partikel agregat.	Rasio semen-agregat (CAR), ukuran butiran (P _{4.75}), kadar air, dan nilai kekuatan geser.	CBR maksimum sebesar 42,5% ditemukan pada CAR 4:6, dengan kekuatan geser tertinggi ketika P _{4.75} = 40%.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tinjauan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan penggunaan *Stone Crusher Waste* sebagai material timbunan dengan campuran terbaik dalam perbaikan tanah dasar (*subgrade*) pada jalan *hauling* di IGP (*Indonesia Growth Project*) Bahodopi Block 2 & 3. Evaluasi ini difokuskan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanis dari material limbah tersebut, serta menilai sejauh mana material tersebut mampu memenuhi persyaratan teknis sebagai timbunan *subgrade* yang stabil dan aman untuk dilintasi kendaraan angkut tambang.

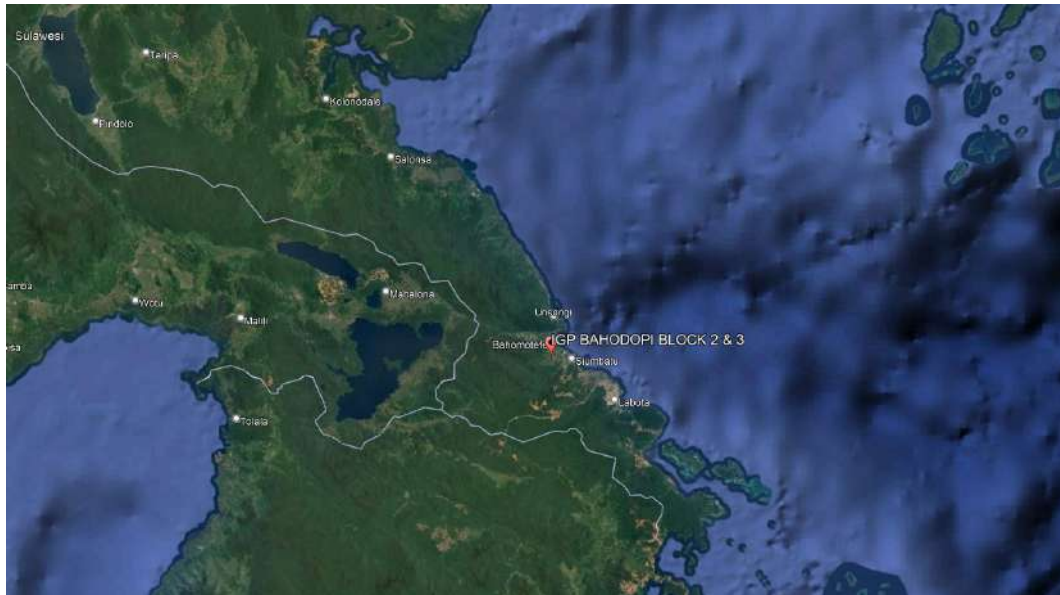
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, dimana data diambil dari kondisi nyata lapangan dengan metode eksperimen laboratorium. Pengambilan data dilakukan melalui pengujian langsung terhadap sampel *Stone Crusher Waste* diantaranya dengan pengujian analisis saringan, berat jenis, kadar air, kadar lumpur, batas *Atterberg*, *Proctor Standard*, dan nilai *CBR* laboratorium.

Studi ini menjadi bagian dari upaya menjajaki potensi material yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal, khususnya dalam konteks jalan *hauling*. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh diharapkan dapat digunakan sebagai acuan teknis untuk mendukung pengambilan keputusan dalam perbaikan *subgrade* pada proyek jalan *hauling*, serta membuka peluang dilakukannya kajian lanjutan pada proyek serupa di masa mendatang.

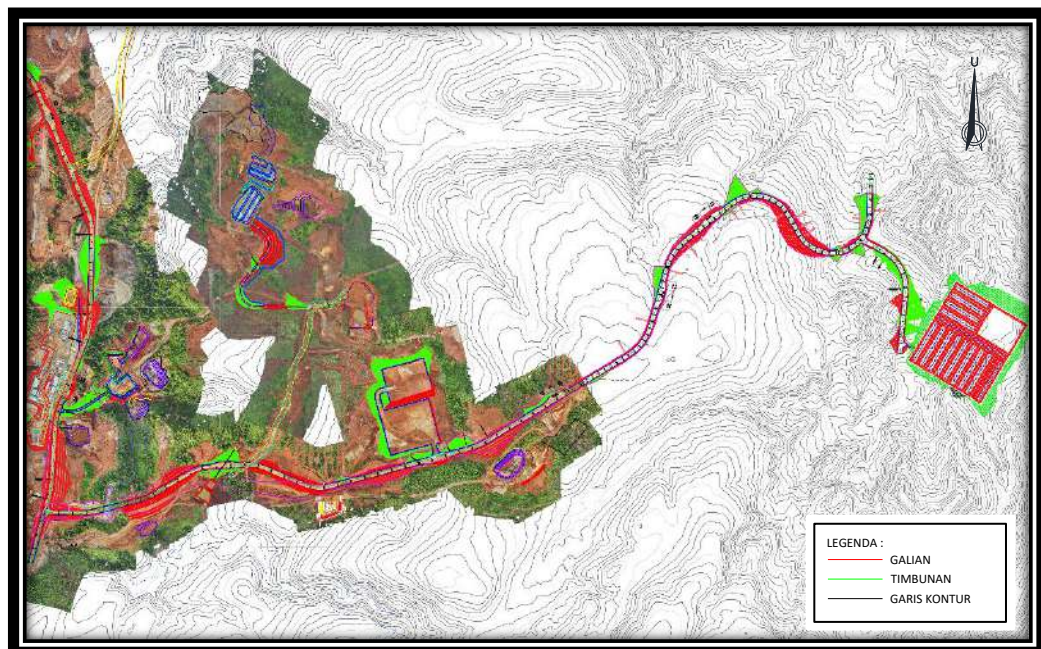
3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di kawasan IGP (*Indonesia Growth Project*) Bahodopi Block 2 & 3, yang terletak di Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Proyek ini merupakan bagian dari pengembangan fasilitas pertambangan nikel yang dikelola oleh PT Vale Indonesia, salah satu perusahaan tambang yang beroperasi di Indonesia dengan fokus utama pada produksi dan pengolahan nikel.

MHR (Mine Haul Road) 112 Zona 2 (STA 1+350 – STA 1+400) dipilih sebagai area fokus penelitian karena berdasarkan pengujian *CBR* lapangan dengan metode DCP, zona ini tidak memenuhi spesifikasi teknis nilai *CBR* yang telah ditetapkan yaitu sebesar **2,76%** pada sisi kiri dan **1,76%** pada sisi kanan yang mana nilai tersebut kurang dari spesifikasi teknis proyek sebesar 4%.



Gambar 3.1. Lokasi *IGP Bahodopi Block 2 & 3*



Gambar 3.2. *Layout Main Haul Road 112*

3.3. Metode Penelitian

Adapun metode yang dipakai pada penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan, mengidentifikasi, serta mengolah data tertulis berupa literatur (buku–buku referensi, laporan – laporan jurnal dan media lainnya yang berkaitan dengan objek penelitian) dan metode kerja yang digunakan.

2. Wawancara

Metode ini dilakukan dengan cara mewawancarai sumber – sumber yang dianggap kompeten untuk dijadikan referensi. Dalam hal ini Divisi *Quality Control* di *IGP Bahodopi Block 2 & 3*

3. Observasi

Observasi dilakukan dengan cara survey langsung ke lapangan, hal ini mutlak dilakukan untuk mengetahui kondisi sebenarnya.

4. Eksperimental

Metode penelitian eksperimental dilakukan di laboratorium, dimana material *Stone Crusher Waste* dan tanah asli diuji secara fisik dan mekanis berdasarkan standar SNI untuk memperoleh data sebagai dasar evaluasi teknis.

Pengujian mengenai Tugas Akhir ini dilakukan di Laboratorium PT. PP Presisi *Site IGP Bahodopi Block 2 & 3*.

3.4. Bahan Penelitian

Berikut adalah bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian :

1. Tanah Asli



Gambar 3.3. Tanah Asli
(Dokumen Penulis, 2025)

2. *Stone Crusher Waste*



Gambar 3.4. *Stone Crusher Waste*
(Dokumen Penulis, 2025)

3.5. Alat Penelitian

Berikut adalah alat-alat yang digunakan dalam penelitian :

1. Peralatan laboratorium untuk pengujian material *Stone Crusher Waste* :
 - Saringan standar ASTM (ASTM C136-06): digunakan pada analisis gradasi butiran.
 - Alat Casagrande dan *grooving tool*: untuk pengujian batas cair.
 - Kaca arloji dan pelat kaca: untuk pengujian batas plastis.
 - *Proctor mold & rammer* standar (SNI 1743:2008): untuk pengujian pemadatan standar.
 - *CBR mold* (SNI 1744:2012) lengkap dengan beban surcharge dan piston baja penetrasi.
 - Mesin CBR laboratorium dengan sistem pengukuran beban-penetrasi.
 - Oven laboratorium ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$): untuk pengeringan sampel.
 - Timbangan digital berkapasitas minimal 5 kg dengan ketelitian 0,01 gram.
 - Alat uji kadar air (cawan uji, spatula, desikator).
 - Palu pemecah sampel dan pisau sampel.
 - Pan (wadah logam), cetok, dan ember: untuk pencampuran sampel.
 - Gelas ukur dan botol semprot: untuk penambahan air pada uji pemadatan.
2. Peralatan pendukung :
 - Peralatan dokumentasi (kamera, buku catatan, alat ukur).

- Komputer dan software pengolah data (*Microsoft Excel, AutoCAD* untuk pemetaan titik uji).

3.6. Komposisi dan Jumlah Sampel

Untuk mendapatkan hasil analisis campuran terbaik, material *Stone Crusher Waste* akan dicampur oleh tanah asli dengan variasi komposisi campuran sebagai berikut:

Tabel 3.1. Komposisi Campuran Sampel

Komposisi Campuran	Kode	<i>Stone Crusher Waste</i>	Tanah Asli
		gram	gram
25% SCW + 75% TA	S25	15.000,00	45.000,00
50% SCW + 50% TA	S50	30.000,00	30.000,00
75% SCW + 25% TA	S75	45.000,00	15.000,00
100% SCW + 0% TA	S100	60.000,00	0,00

Keterangan :

SCW = *Stone Crusher Waste*

TA = Tanah Asli

Pada masing-masing komposisi campuran tersebut akan diidentifikasi komposisi campuran optimum yang memenuhi syarat teknis berdasarkan spesifikasi proyek.

3.7. Prosedur Penelitian

3.7.1. *Properties Stone Crusher Waste*

Tujuan uji berikut ialah guna memahami sifat fisik dan sifat mekanis dari *Stone Crusher Waste* yang akan diuji sehingga dapat mengetahui komposisi campuran optimum. Berikut adalah pengujian properties yang dilakukan :

A. Sifat Fisik.

1. Gradasi Material
2. Kadar Air Material
3. Berat Jenis Material
4. Kadar Lumpur
5. Batas Plastis, Batas Cair serta Indeks Plastis
6. Klasifikasi Material

B. Sifat Mekanis.

1. Kadar Air Optimum
2. Kepadatan Kering Maksimum
3. Nilai *CBR*

3.7.2. Tahapan Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan di lokasi proyek *Indonesia Growth Project (IGP)* Bahodopi *Block 2 & 3* pada titik-titik yang mewakili:

- Material tanah asli
- Material *Stone Crusher Waste*

Prosedur pengambilan sampel mengikuti ketentuan SNI 03-6802-2002 tentang Metode Pengambilan Contoh Uji Tanah, dengan memperhatikan:

- Sampel diambil secara *disturbed* (untuk keperluan gradasi dan indeks plastisitas),
- Disimpan dalam wadah kedap udara atau plastik tebal agar kadar air tidak berubah,
- Diberi label yang memuat informasi lokasi, tanggal, jenis material, dan kondisi saat diambil.

3.7.3. Tahapan Pencampuran Material *Stone Crusher Waste* dan Tanah Asli

Setelah proses pengambilan sampel, masing-masing material yaitu *Stone Crusher Waste (SCW)* dan tanah asli (TA) ditimbang sesuai proporsi campuran yang telah ditentukan dalam **Tabel 3.1.** (misalnya 25% SCW dan 75% TA untuk S25). Pencampuran dilakukan guna memperoleh material homogen sebelum diuji di laboratorium. Tahapan pencampuran dilakukan sebagai berikut:

1. Material *Stone Crusher Waste* dan tanah asli yang telah dikeringkan udara (*air dry*) ditimbang menggunakan timbangan digital dengan akurasi ± 1 gram.
2. Proporsi campuran pada sampel menggunakan nampan yang berjumlah 4 buah dengan asumsi 1 nampan merupakan 25% dari jumlah total campuran seperti **Gambar 3.5.**



Gambar 3.5. Proporsi untuk pencampuran material menggunakan 4 buah nampan
(Dokumen Penulis, 2025)

3. Kedua material dicampurkan di permukaan datar yang bersih dan tidak menyerap air.
4. Pencampuran dilakukan secara manual dengan metode pelipatan (*folding and flipping*) menggunakan tangan bersarung atau sekop logam, minimal tiga kali pengadukan silang hingga campuran terlihat homogen secara visual.
5. Untuk menjamin keseragaman pencampuran, dilakukan uji kadar air awal guna memastikan bahwa kadar air berada dalam rentang *air dry* (kadar air alami rendah).
6. Setelah campuran homogen terbentuk, material siap direduksi untuk keperluan pengujian laboratorium.

Tahapan pencampuran ini berlaku untuk semua komposisi campuran kecuali komposisi 100% *Stone Crusher Waste*. Pada sampel dengan komposisi 100% *Stone Crusher Waste* tidak melalui tahap ini karena tidak dicampur dengan material tanah asli.

3.7.4. Tahapan Pembagian Sampel dengan Cara Perempat (*Quartering*)

Setelah campuran homogen diperoleh, dilakukan reduksi volume menggunakan metode *quartering* sesuai dengan SNI 1975-2012. Tujuannya adalah untuk mendapatkan sampel perwakilan (representatif) yang sesuai kebutuhan pengujian tanpa mengubah karakteristik campuran. Langkah-langkah *quartering* adalah sebagai berikut :

1. Campuran material ditaburkan secara merata membentuk tumpukan menyerupai kerucut di atas alas datar dan bersih.

2. Tumpukan dibagi menjadi empat bagian sama besar dengan dua garis tegak lurus.
3. Dua bagian yang saling berseberangan secara diagonal dibuang, dan dua bagian lainnya dicampur kembali secara menyeluruh.
4. Proses quartering diulang sampai diperoleh berat sampel yang sesuai dengan kebutuhan uji laboratorium (misalnya ± 5 kg untuk analisis saringan).
5. Sampel hasil quartering disimpan dalam kantong plastik laboratorium tertutup rapat untuk menjaga kestabilan kadar air dan mencegah kontaminasi sebelum dilakukan pengujian.

3.7.5. Tahapan Analisis Saringan (SNI ASTM C136:2012)

Pengujian analisis saringan bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran agregat kasar maupun halus yang terkandung dalam campuran *Stone Crusher Waste* dan tanah asli. Hasil gradasi ini akan digunakan untuk mengklasifikasikan tanah serta menentukan kesesuaian campuran terhadap spesifikasi teknis material timbunan *subgrade*.

Tahapan pelaksanaan pengujian ini merujuk pada SNI ASTM C136:2012, sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat saringan berstandar ASTM (ukuran bertingkat dari saringan 4", No. 4, dan No. 200), penutup dan pan penampung.
2. Siapkan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram.
3. Siapkan oven laboratorium bersuhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
4. Ambil sampel hasil quartering dari masing-masing komposisi (S25, S50, S75, S100)
5. Keringkan sampel dalam oven hingga mencapai berat konstan. Proses ini menghilangkan kadar air bebas yang dapat mempengaruhi berat total.
6. Timbang sampel kering menggunakan timbangan
7. Susun saringan dari ukuran terbesar ke terkecil dengan pan di bagian paling bawah.
8. Tuang sampel pada saringan teratas.

9. Lakukan pengayakan secara manual selama ± 15 menit dengan gerakan vertical dan rotasi hingga tidak ada lagi butiran signifikan yang tertahan
10. Pastikan tidak ada material yang tumpah atau hilang selama proses pengayakan
11. Timbang berat material yang tertahan pada setiap saringan secara berurutan.
12. Catat hasil penimbangan untuk semua saringan dan pan (bahan lolos No. 200).
13. Jumlahkan seluruh fraksi tertahan dan bandingkan dengan berat awal untuk menghitung selisih kehilangan (*loss*). Nilai kehilangan tidak boleh lebih dari 2%

3.7.6. Tahapan Pengujian Kadar Air (SNI 03-1965-1990)

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui tingkat kelembaban alami dari tanah atau campuran. Metode ini dilakukan dengan cara pengeringan dalam oven dan perbandingan berat basah dan kering.

Langkah-langkah pengujian berdasarkan SNI 03-1965-1990 :

1. Tempatkan sampel uji dalam cawan, lalu timbang dan catat beratnya
2. Keringkan sampel dalam oven pada suhu $105-110^{\circ}\text{C}$ selama minimal 24 jam.
3. Setelah kering, timbang kembali sampel
4. Hitung kadar air dengan rumus :

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan :

w	adalah kadar air, (%)
W_1	adalah berat cawan dan tanah basah (gram)
W_2	adalah berat cawan dan tanah kering (gram)
W_3	adalah berat cawan (gram)
$(W_1 - W_2)$	adalah berat air (gram)
$(W_2 - W_3)$	adalah berat tanah kering (partikel padat) (gram)

3.7.7. Tahapan Pengujian Berat Jenis Material Agregat Halus (SNI 1970-2016)

Pengujian berat jenis digunakan untuk menentukan berat jenis dari partikel material, terutama bagian halus yang lolos saringan No. 4. Metode yang digunakan adalah menggunakan piknometer.

Prosedur pelaksanaan uji berat jenis material agregat halus :

1. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, lalu dinginkan dalam desikator.
2. Cuci dan keringkan piknometer atau botol ukur, kemudian timbang.
3. Masukkan benda uji kering ke dalam piknometer, lalu timbang lagi.
4. Tambahkan air suling hingga $2/3$ volume piknometer.
5. Jika benda uji mengandung lempung, rendam selama ≥ 24 jam.
6. Panaskan piknometer perlahan selama ≥ 10 menit untuk mengeluarkan udara dari pori-pori. Bisa dimiringkan untuk mempercepat proses.
7. Alternatifnya, gunakan pompa vakum dengan tekanan 13,33 kPa (100 mmHg).
8. Rendam piknometer dalam bak air hingga suhu stabil, tambahkan air hingga penuh, keringkan bagian luar, lalu timbang.
9. Ukur suhu isi piknometer untuk menentukan faktor koreksi.
10. Jika volume piknometer belum diketahui, isi penuh dengan air suling suhu sama, lalu keringkan dan timbang.
11. Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus :

- Berat jenis curah

$$S_d = \frac{A}{(B+S-C)} \dots\dots\dots (3.2)$$

- Berat jenis jenuh kering permukaan

$$S_s = \frac{S}{(B+S-C)} \dots\dots\dots (3.3)$$

- Berat jenis semu

$$S_a = \frac{A}{(B+A-C)} \dots\dots\dots (3.4)$$

- Penyerapan air

$$A_w = \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan :

A adalah berat jenis benda uji kering oven (gram)

B adalah berat piknometer berisi air (gram)

C adalah berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram)

S adalah benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

3.7.8. Tahapan Pengujian Berat Jenis Material Agregat Kasar (SNI 1969-2016)

Pengujian berat jenis digunakan untuk menentukan berat jenis dari partikel material, terutama material yang tertahan saringan No. 4.

Prosedur pelaksanaan uji berat jenis material agregat kasar :

1. Benda uji dicuci untuk menghilangkan debu atau kotoran yang menempel pada permukaan.
2. Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu $(110^{\circ} \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai berat konstan. Jika digunakan pada kondisi kelembapan asli, pengeringan oven tidak diperlukan.
3. Benda uji didinginkan pada suhu ruang selama 1–3 jam, kemudian ditimbang dengan ketelitian 0,5 gram.
4. Benda uji direndam dalam air pada suhu ruang selama 24 ± 4 jam.
5. Setelah perendaman, benda uji diangkat dan dilap dengan kain penyerap hingga air permukaan hilang.
6. Timbang benda uji dalam kondisi kering-permukaan jenuh
7. Benda uji ditempatkan dalam keranjang, digoyangkan untuk mengeluarkan udara, lalu ditimbang dalam air dan suhu air diukur pada 25°C .
8. Untuk material dengan variasi butiran berat dan ringan, pengulangan pengujian diperlukan agar diperoleh hasil rata-rata yang akurat.
9. Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar :

- Berat jenis curah

$$S_d = \frac{A}{B-C} \dots\dots\dots (3.5)$$

- Berat jenis jenuh kering permukaan

$$S_s = \frac{B}{B-C} \dots\dots\dots(3.6)$$

x''

- Berat jenis semu

$$S_a = \frac{A}{A-C} \dots\dots\dots(3.7)$$

- Penyerapan air

$$A_w = \left[\frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan :

A adalah berat jenis benda uji kering oven (gram)

B adalah berat piknometer berisi air (gram)

C adalah berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram)

S adalah benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

3.7.9. Tahapan Pengujian Kadar Lumpur (SNI 03-4142-1996)

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh persentase kadar lumpur dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm).

Prosedur pelaksanaan berdasarkan SNI 03-4142-1996 :

1. Timbang wadah tanpa benda uji;
2. Timbang benda uji dalam keadaan kering oven dan masukkan ke dalam wadah;
3. Masukkan air pencuci yang sudah berisi sejumlah bahan pembersih ke dalam wadah, sehingga benda uji terendam;
4. Aduk benda uji dalam wadah sehingga menghasilkan pemisahan yang sempurna antara butir-butir kasar dan bahan halus yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm). Usahakan bahan halus tersebut menjadi melayang di dalam larutan air pencuci sehingga mempermudah memisahnya;
5. Tuangkan air pencuci dengan segera di atas saringan Nomor 16 (1,18 mm) yang di bawahnya dipasang saringan Nomor 200 (0,075 mm) pada

waktu menuangkan air pencuci harus hati-hati supaya bahan yang kasar tidak ikut tertuang;

6. Ulangi pekerjaan butir (3), (4), dan (5), sehingga tuangan air pencuci terlihat jernih;
7. Kembalikan semua benda uji yang tertahan saringan Nomor 16 (1,18 mm) dan Nomor 200 (0,075 mm) ke dalam wadah lalu keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai mencapai berat tetap, dan timbang sampai ketelitian maksimum $\pm 0,1 \%$ dari berat contoh;
8. Hitung persen bahan yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) dengan rumus-rumus perhitungan seperti yang diuraikan pada Bab III, untuk selanjutnya dianalisis.

9. Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

- Berat kering benda uji awal

$$W_3 = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (3.9)$$

- Berat kering benda uji sesudah pencucian

$$W_5 = W_4 - W_2 \dots\dots\dots (3.10)$$

- Bahan lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

$$W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (3.11)$$

Keterangan :

W_1 = Berat kering benda uji + wadah (gram)

W_2 = Berat wadah (gram)

W_3 = Berat kering benda uji awal (gram)

W_4 = Berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram)

W_5 = Berat kering benda uji sesudah pencucian (gram)

W_6 = % bahan lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

3.7.10. Tahapan Pengujian Batas *Atterberg* (SNI 1967-2008)

Tujuan pengujian Batas *Atterberg* untuk mengetahui kadar air tanah yang terdapat antara kedua kondisi yaitu plastis dan cair.

A. Batas Cair

Prosedur pelaksanaan uji batas cair seperti di bawah ini :

1. Ambil benda uji secukupnya, lalu keringkan dalam oven pada suhu sekitar $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama kurang lebih 24 jam hingga beratnya konstan.
2. Setelah proses pengeringan selesai, remas dan hancurkan gumpalan benda uji hingga halus. Selanjutnya, ayak menggunakan saringan No. 40 ($\varnothing 0,425 \text{ mm}$) untuk memperoleh butiran halus yang dibutuhkan.
3. Masukkan sebagian material halus ke dalam mangkuk, kemudian tambahkan air bersih sedikit demi sedikit. Aduk campuran tersebut menggunakan spatula atau kolek sampai tercampur merata dan menyerupai pasta yang plastis.
4. Setelah mencapai konsistensi yang diinginkan, letakkan pasta material tersebut ke dalam mangkuk alat Casagrande. Ratakan permukaannya sesuai ketinggian penurunan standar, yaitu sekitar 1 cm.
5. Buatlah alur lurus di tengah sampel menggunakan pisau pembagi atau alat khusus (*grooving tool*), hingga terbentuk dua bagian tanah yang simetris.
6. Putar engkol pada alat Casagrande dengan kecepatan stabil, yaitu dua kali putaran setiap detik, sampai kedua bagian tanah menyatu pada dasar alur sejauh 13 mm.
7. Catat jumlah pukulan (jumlah putaran mangkuk) yang diperlukan hingga kedua sisi menyatu, kemudian ambil sebagian tanah untuk diuji kadar airnya.
8. Ulangi prosedur ini dengan variasi kadar air yang berbeda hingga diperoleh data 3–4 kali percobaan. Setiap data akan diplot dalam grafik hubungan log jumlah pukulan terhadap kadar air, dan dari grafik tersebut ditentukan batas cair (Liquid Limit) saat sampel menyatu pada 25 pukulan.

9. Perhitungan Persentase Kadar Air :

$$\text{Persentase Kadar Air} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat tanah kering oven}} \times 100\% \dots \dots \dots (3.12)$$

Persentase kadar air dibulatkan ke nilai terdekat.

10. Perhitungan nilai batas cair

$$LL = W_n \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121} \dots \dots \dots (3.13)$$

Dengan pengertian :

N adalah jumlah pukulan yang menyebabkan tertutupnya alur pada kadar air tertentu;

LL adalah batas cair terkoreksi untuk tertutupnya alur pada 25 pukulan (%);

W_n adalah kadar air (%);

k adalah faktor koreksi yang diberikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Faktor koreksi

Jumlah Pukulan (N)	Faktor Batas Cair (K)
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014

Faktor koreksi untuk menentukan nilai batas cair berdasarkan kadar air dan jumlah pukulan yang menyebabkan tertutupnya alur.

B. Batas Plastis

Prosedur pelaksanaan uji batas plastis seperti di bawah ini :

1. Berdasarkan data hasil percobaan sebelumnya, buat grafik dengan sumbu x menunjukkan jumlah pukulan (ketukan Casagrande), dan sumbu y menunjukkan kadar air (%) dari masing-masing sampel.
2. Hubungkan titik-titik hasil percobaan tersebut dengan sebuah garis lurus, lalu tarik garis bantu tegak lurus dari nilai 25 ketukan pada sumbu x untuk menemukan titik potong dengan garis tren.
3. Dari titik potong tersebut, tarik garis mendatar ke kiri hingga menyentuh sumbu y, lalu baca nilai persentase kadar air. Nilai ini merupakan batas cair tanah.
4. Selanjutnya, untuk mengetahui batas plastis, ambil sampel tanah dengan kadar air sedikit lebih rendah dari batas cair, kemudian digulung dengan tangan hingga membentuk benang tanah berdiameter 3 mm. Jika tanah

mulai retak atau hancur saat digulung, maka kadar air pada saat itu adalah nilai batas plastis (*plastic limit*).

5. Perhitungan batas plastis dinyatakan dalam persen, sebagai berikut :

$$\text{Batas Plastis (PL)} = \frac{\text{Berat massa air}}{\text{Berat massa tanah kering}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.14)$$

C. Indeks Plastis

Selisih antara batas cair tanah dan batas plastis tanah. Berikut perhitungan indeks plastisitas tanah :

$$\text{Indeks Plastisitas (PI)} = \frac{\text{Berat massa air}}{\text{Berat massa tanah kering}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.15)$$

3.7.11. Tahapan Pengujian *Proctor Standard* (SNI 1743:2008)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum. Pengujian ini dibutuhkan untuk mencapai pemadatan tanah terbaik.

Prosedur pelaksanaan uji *proctor standard* seperti di bawah ini :

1. Timbang berat awal cetakan dan pelat dasarnya (B1) dengan ketelitian 1 gram.
2. Pasang leher sambung, lalu tempatkan cetakan di atas permukaan padat dan stabil (misal lantai beton).
3. Ambil campuran tanah asli dan limbah stone crusher secukupnya. Aduk hingga homogen.
4. Masukkan sampel ke dalam cetakan dalam 5 lapisan dengan ketebalan merata.
5. Setiap lapisan dipadatkan menggunakan alat tumbuk (massa 4,54 kg, tinggi jatuh 457 mm) sebanyak 56 tumbukan merata.
6. Ulangi pemadatan untuk lapisan 2 hingga 5 seperti lapisan pertama.
7. Setelah semua lapisan dipadatkan, lepaskan kelebihan tanah hingga rata dengan permukaan cetakan.
8. Timbang kembali cetakan berisi sampel dan pelat dasarnya (B2)
9. Keluarkan benda uji dari cetakan menggunakan alat ekstruder.

10. Belah benda uji secara vertikal dan ambil sampel dari bagian tengah untuk uji kadar air (mengacu SNI 03-1965-1990).
11. Ulangi proses dari langkah 3 hingga 7 dengan kadar air berbeda, hingga diperoleh variasi data untuk mencari kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum.
12. Rumus-rumus perhitungan yang digunakan :

- Kepadatan Basah

$$\rho = \frac{(B_2 - B_1)}{V} \dots \dots \dots (3.15)$$

dengan pengertian :

ρ adalah kepadatan basah, dinyatakan dalam gram/cm³;

B1 adalah massa cetakan dan keping alas, dinyatakan dalam gram;

B2 adalah massa cetakan, keping alas dan benda uji, dinyatakan dalam gram;

V adalah volume benda uji atau volume cetakan, dinyatakan dalam cm³.

- Kadar Air

$$w = \frac{(A - B)}{(B - C)} \dots \dots \dots (3.16)$$

dengan pengertian :

w adalah kadar air, dinyatakan dalam %;

A adalah massa cawan dan benda uji basah, dinyatakan dalam gram;

B adalah massa cawan dan benda uji kering, dinyatakan dalam gram;

C adalah massa cawan, dinyatakan dalam gram.

- Kepadatan kering maksimum

$$\rho_d = \frac{(\rho)}{(100 + w)} \times 100\% \dots \dots \dots (3.17)$$

dengan pengertian :

ρ_d adalah kepadatan kering, dinyatakan dalam gram/cm³;

ρ adalah kepadatan basah, dinyatakan dalam gram/cm³;

w adalah kadar air, dinyatakan dalam %

3.7.12. Tahapan pengujian *California Bearing Ration (CBR)* Laboratorium (SNI 1744-2012)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur daya dukung *subgrade* pada jalan *hauling* terhadap standard teknis yang sudah ditentukan.

Proses berikut digunakan untuk pelaksanaan uji *CBR* :

1. Ambil sampel material yang telah dikondisikan pada kadar air tertentu (mendekati kadar air optimum).
2. Masukkan sampel ke dalam mold CBR dengan diameter ± 152 mm dalam tiga lapisan dengan jumlah tumbukan sesuai energi pemadatan standar Proctor.
3. Setelah setiap lapisan dipadatkan, ratakan permukaan dengan pisau penggaris.
4. Lakukan langkah 2 sampai 3 dengan variasi 15, 35, & 65 kali tumbukan
5. Pasang beban surcharge (biasanya $2 \times 2,5$ kg) pada permukaan sampel dalam mold.
6. Rendam sampel dalam air selama 96 jam (4 hari).
7. Setelah perendaman, ukur pengembangan (*swell*) dengan dial gauge.
8. Letakkan mold berisi sampel di bawah mesin penetrasi CBR.
9. Pasang beban surcharge yang sama seperti saat perendaman.
10. Tekan piston baja berdiameter 50 mm dengan kecepatan konstan 1,27 mm/menit.
11. Catat beban penetrasi pada kedalaman 0,25 mm, 0,5 mm, 0,75 mm, 1,0 mm, 1,25 mm, 1,5 mm, 1,75 mm, 2,0 mm, 2,5 mm, dan 5,0 mm.

3.8. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah material *Stone Crusher Waste*. Dalam penelitian ini, variabel ini dimodifikasi dalam bentuk persentase campuran antara *Stone Crusher Waste* dan tanah asli untuk diuji pengaruhnya terhadap nilai *CBR* pada *subgrade*.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah indikator kelayakan teknis *Stone Crusher Waste* sebagai material timbunan *subgrade*.

Variabel ini bersifat kuantitatif, karena diukur dengan angka berdasarkan hasil uji laboratorium. Penentuan kelayakan teknis dilihat dari parameter-parameter mekanik dan fisik hasil uji laboratorium.

Indikator dari variabel terikat adalah :

- Nilai *CBR*: menunjukkan daya dukung tanah terhadap beban.
- Kepadatan kering maksimum: kemampuan material untuk dipadatkan secara optimal
- Kadar air optimum: kadar air terbaik saat pemadatan berlangsung
- Indeks Plastisitas (*PI*): menunjukkan konsistensi tanah terhadap perubahan kadar air.

3.9. Metode Analisis Hasil

Analisis hasil dilakukan tahapan :

1. Analisis laboratorium :

Menilai karakteristik fisik dan mekanis material berdasarkan hasil uji Analisis Saringan, Kadar Air, Kadar Lumpur, Batas *Atterberg*, *Proctor Standard*, & *CBR*.

2. Analisis kelayakan teknis :

Kelayakan teknis material *Stone Crusher* sebagai perbaikan timbunan *subgrade* yang menjadi acuan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3. Ketentuan Timbunan (Spesifikasi Umum 2018; Seksi 3.3. Bahan Timbunan, Pasal 3.3.2. Timbunan Berbutir) & Ketentuan *Subgrade* (Spesifikasi Teknis Proyek *IGP Bahodopi Block 2 & 3*)

Parameter Uji	Spesifikasi	Metode Uji	Referensi
Gradasi Butiran	Persen berat yang lolos : 4" = 100% No. 4 = 25%-90% No. 200 = 0%-10%	SNI ASTM C136:2012	Spesifikasi Umum 2018 (Ketentuan Timbunan Berbutir)
Plastis Indeks	< 10%	SNI 1967-2008	Spesifikasi Umum 2018 (Ketentuan Timbunan Berbutir)
CBR	> 4%	SNI 1744-2012	Spesifikasi Teknis Proyek IGP Bahodopi Block 2 & 3 (Ketentuan <i>Subgrade</i>)

3. Penentuan komposisi optimum :

Dari hasil analisis laboratorium dan penilaian teknis, dilakukan pemilihan komposisi campuran *Stone Crusher Waste* dan tanah asli yang paling optimal.

4. Evaluasi dan penyusunan kesimpulan :

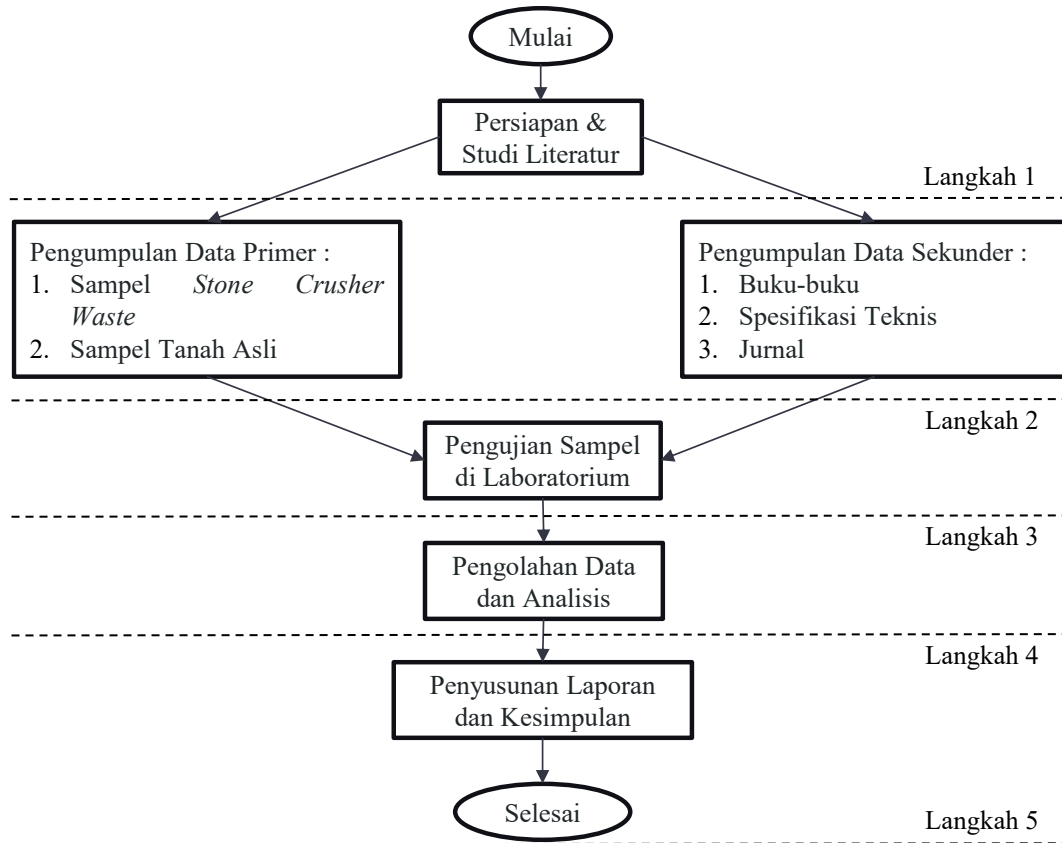
Menyusun evaluasi komperhensif terhadap hasil analisis dan menginterpretasikan data untuk :

- Mengetahui karakteristik fisik & mekanis material *Stone Crusher Waste*
- Menilai kelayakan teknis penggunaan *Stone Crusher Waste* sebagai material perbaikan *subgrade*
- Menguraikan kelebihan dan kekurangan masing-masing campuran
- Merumuskan rekomendasi teknis untuk penerapan hasil penelitian di proyek sejenis

Kesimpulan yang diambil pada tahap ini didasarkan pada sintesis antara hasil laboratorium, spesifikasi teknis, dan efisiensi material.

3.10. Bagan Alir Penelitian

Untuk mendapatkan hasil maksimal, terarah, dan dapat dipertanggungjawabkan, penelitian ini perlu dilakukan secara sistematis atau sesuai urutan yang teratur dan jelas. Untuk itu perlu dibuat bagan alir yang dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6. Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Tugas akhir ini melibatkan pengujian laboratorium terhadap *Stone Crusher Waste* hasil produksi agregat *Stone Crusher Waste* yang dicampur dengan tanah asli dari *Indonesia Growth Project (IGP)* Bahodopi Block 2 & 3. Penelitian ini bersifat eksperimental yang dilakukan di Laboratorium PT. PP Presisi dengan metode pendekatan campuran berbagai variasi *Stone Crusher Waste* (25%, 50%, 75%, dan 100%) terhadap tanah asli. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanis dari *Stone Crusher Waste*, seperti gradasi butiran, berat jenis, batas *Atterberg*, kadar air optimum, dan nilai CBR laboratorium.

Selanjutnya, data hasil pengujian digunakan untuk menilai apakah material *Stone Crusher Waste* memenuhi persyaratan teknis sebagai material perbaikan *subgrade*, serta menentukan komposisi campuran yang paling optimal berdasarkan parameter teknis yang sudah ditetapkan. Penelitian ini diharapkan memberikan alternatif material timbunan yang sesuai dengan standar teknis jalan *hauling* di kawasan pertambangan.

4.2. Sifat Fisik dan Mekanis Material *Stone Crusher Waste*

Analisis karakteristik fisik dan mekanis material bertujuan untuk memahai potensi *Stone Crusher Waste* sebagai bahan substitusi material timbunan perbaikan *subgrade*. Berikut Tabel 4.1. menunjukkan hasil perhitungan data dari sampel pengujian *Stone Crusher Waste*.

Tabel 4.1. Data Pengujian Sifat Fisik *Stone Crusher Waste*

Sifat	Nilai	Satuan
Gradasi Butiran (GS)		
Lolos saringan 4"	100,00	%
Lolos saringan No. 40	44,52	%
Lolos saringan No. 200	2,12	%
<i>Specific Gravity</i>	2,18	gram/cm ³

Sifat	Nilai	Satuan
Kadar Air	16,78	%
Kadar Lumpur	3,27	%
Batas Cair (LL)	29,69	%
Batas Plastis (PL)	25,10	%
Indeks Plastis (IP)	4,59	%

Tabel 4.2. Data Pengujian Sifat Mekanis *Stone Crusher Waste*

Sifat	Nilai	Satuan
Kadar Air Optimum (Wopt)	13,20	%
Kepadatan Kering Maksimum (yd Max)	1,65	gram/cm ³
Nilai CBR	49,43	%

Berdasarkan **Tabel 4.1** dan **4.2**, dapat dijelaskan bahwa *Stone Crusher Waste* memiliki karakteristik gradasi yang tergolong sebagai timbunan berbutir sesuai dengan spesifikasi timbunan pada Spesifikasi Umum 2018. Selain itu, hasil pengujian terhadap kadar air menunjukkan bahwa *Stone Crusher Waste* memiliki nilai kadar air sebesar 16,78%. Nilai ini masih berada dalam rentang kadar air alami yang dapat diterima untuk material timbunan, serta menunjukkan bahwa *Stone Crusher Waste* memiliki kemampuan menyerap air akibat sifat fisik butirannya yang bertekstur kasar dan berpori.

Hasil pengujian kadar lumpur untuk komposisi *Stone Crsuher Waste* menunjukkan nilai sebesar 3,27%. Nilai ini tergolong rendah dan mencerminkan kebersihan material yang baik. Kadar lumpur yang rendah seperti ini mengindikasikan bahwa *Stone Crusher Waste* tidak mengandung partikel halus berlebihan yang dapat mengganggu daya dukung, kestabilan, maupun kemampuan pemadatan dari lapisan tanah tersebut.

Nilai *specific gravity* sebesar 2,18 g/cm³ mengindikasikan bahwa partikel *Stone Crusher Waste* cukup padat dan berpotensi memberikan kontribusi positif terhadap daya dukung tanah ketika dicampurkan dengan material asli.

Dari sisi indeks konsistensi tanah, nilai batas cair (LL) sebesar 29,69% dan batas plastis (PL) sebesar 25,10% menunjukkan bahwa tanah hasil pencampuran *Stone Crusher Waste* memiliki perilaku plastis yang tergolong rendah, sebagaimana

ditunjukkan oleh indeks plastisitas (PI) sebesar 4,59%. Menurut klasifikasi tanah, nilai PI tersebut berada dalam kisaran tanah dengan plastisitas rendah (ML-OL) sehingga tidak mudah berubah bentuk akibat perubahan kadar air, suatu kondisi yang sangat ideal untuk lapisan subgrade.

Selanjutnya, hasil pengujian Proctor dan CBR pada **Tabel 4.2** memperlihatkan bahwa kadar air optimum campuran adalah 13,20% dengan kepadatan kering maksimum 1,65 g/cm³. Nilai CBR sebesar 49,43% merupakan angka yang sangat tinggi, bahkan jauh melebihi nilai ambang batas minimum 4% yang disyaratkan dalam spesifikasi teknis proyek. Hal ini membuktikan bahwa *Stone Crusher Waste* murni sangat potensial digunakan sebagai material pengganti tanah asli dalam lapisan perkerasan bawah.

Dengan demikian, data dalam Tabel 4.1 dan 4.2 memberikan dasar kuat bahwa *Stone Crusher Waste* memiliki karakteristik fisik dan mekanis yang sesuai untuk aplikasi timbunan subgrade, baik dari segi kepadatan, plastisitas, maupun daya dukung tanah.

4.3. Evaluasi Kelayakan Teknis *Stone Crusher Waste* sebagai Material Timbunan Perbaikan *Subgrade*

Berdasarkan hasil uji analisa saringan, *Stone Crusher Waste* memenuhi persyaratan sebagai timbunan berbutir sesuai Spesifikasi Umum 2018. Hasil uji batas atterberg, *Stone Crusher Waste* memiliki nilai Indeks Plastisitas di bawah 10% sesuai Spesifikasi Umum 2018. Dari hasil uji proctor, *Stone Crusher Waste* memiliki nilai kepadatan kering maksimum sebesar 1,65 g/cm³ dengan kadar air optimum 13,2%. Sementara itu, hasil pengujian CBR laboratorium menunjukkan nilai sebesar 49,43%, yang jauh melebihi batas minimum 4% yang dipersyaratkan oleh spesifikasi teknis proyek.

Jika dibandingkan dengan tanah asli yang memiliki nilai *CBR* hanya sekitar 2%, maka peningkatan ini cukup signifikan dan mencerminkan keunggulan *Stone Crusher Waste* dalam meningkatkan daya dukung lapisan tanah dasar. Dengan performa tersebut, *Stone Crusher Waste* layak dipertimbangkan sebagai material pengganti *subgrade* konvensional di lapangan.

4.4. Analisis Campuran *Stone Crusher Waste* dengan Tanah Asli di Laboratorium

Setelah didapatkan sifat fisik dan mekanis serta evaluasi kelayakan teknis *Stone Crusher Waste*, maka material ini selanjutnya akan diuji di laboratorium dengan mencampurkan *Stone Crusher Waste* dengan tanah Asli.

4.4.1. Analisis Saringan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dalam campuran *Stone Crusher Waste* dan tanah asli, yang mempengaruhi tingkat pemadatan dan stabilitas struktur timbunan. Pengujian ini menggunakan saringan ukuran 4", No. 4 dan No. 200 sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hasil pengujian analisis saringan pada sampel S25 (25% *Stone Crusher Waste*), S50 (50% *Stone Crusher Waste*), S75 (75% *Stone Crusher Waste*), & S100 (100% *Stone Crusher Waste*) dapat dilihat pada **Tabel 4.3 – Tabel 4.6**.

Tabel 4.3. Nilai Perhitungan Analisis Saringan pada Sampel S25

Material 25% SCW + 75% TA				Material 25% SCW + 75% TA				AVERAGE
Weight of sample : 4950,8 Gram				Weight of sample : 5103,4 Gram				
Sieve	Cumulative Weight			Sieve	Cumulative Weight			
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass	
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)	
4"	0	0	100	4"	0	0	100	100
No. 4	1107	22,35	77,65	No. 4	1125	22,04	77,96	77,81
No. 200	2055	41,50	58,50	No. 200	1982	38,83	61,17	59,84
Pan	4951	100,00	0,00	Pan	5103	100,00	0,00	0,00

(Sumber : Analisis Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil perhitungan gradasi butiran pada **Tabel 4.3.** dengan komposisi campuran 25% *Stone Crusher Waste* + 75% Tanah Asli, material yang lolos ayakan ukuran 4" sebesar 100%, No. 4 sebesar 77,81%, dan No. 200 sebesar 59,84%.

Tabel 4.4. Nilai Perhitungan Analisis Saringan Komposisi S50

Material 50% SCW + 50% TA				Material 50% SCW + 50% TA				AVERAGE
Weight of sample : 5176,2 Gram				Weight of sample : 5189,4 Gram				
Sieve	Cumulative Weight				Cumulative Weight			
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass	
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)	
4"	0	0	100	4"	0	0	100	100
No. 4	2200	42,51	57,49	No. 4	2104	40,54	59,46	58,48
No. 200	3855	74,47	25,53	No. 200	3800	73,23	26,77	26,15
Pan	5176	100,00	0,00	Pan	5189	100,00	0,00	0,00

(Sumber : Analisis Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil perhitungan gradasi butiran pada **Tabel 4.4.** dengan komposisi campuran 50% *Stone Crusher Waste* + 50% Tanah Asli, material yang lolos ayakan ukuran 4" sebesar 100%, No. 4 sebesar 58,48%, dan No. 200 sebesar 26,15%.

Tabel 4.5. Nilai Perhitungan Analisis Saringan S75

Material 75% SCW + 25% TA				Material 75% SCW + 25% TA				AVERAGE
Weight of sample : 5207,2 Gram				Weight of sample : 5346,6 Gram				
Sieve	Cumulative Weight			Sieve	Cumulative Weight			
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass	
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)	
4"	0	0	100	4"	0	0	100	100
No. 4	2697	51,79	48,21	No. 4	2686	50,24	49,76	48,99
No. 200	4663	89,55	10,45	No. 200	4858	90,86	9,14	9,79
Pan	5207	100,00	0,00	Pan	5347	100,00	0,00	0,00

(Sumber : Analisa Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil perhitungan gradasi butiran pada **Tabel 4.5** dengan komposisi campuran 75% *Stone Crusher Waste* + 25% Tanah Asli, material yang lolos ayakan ukuran 4" sebesar 100%, No. 4 sebesar 48,99%, dan No. 200 sebesar 9,79%.

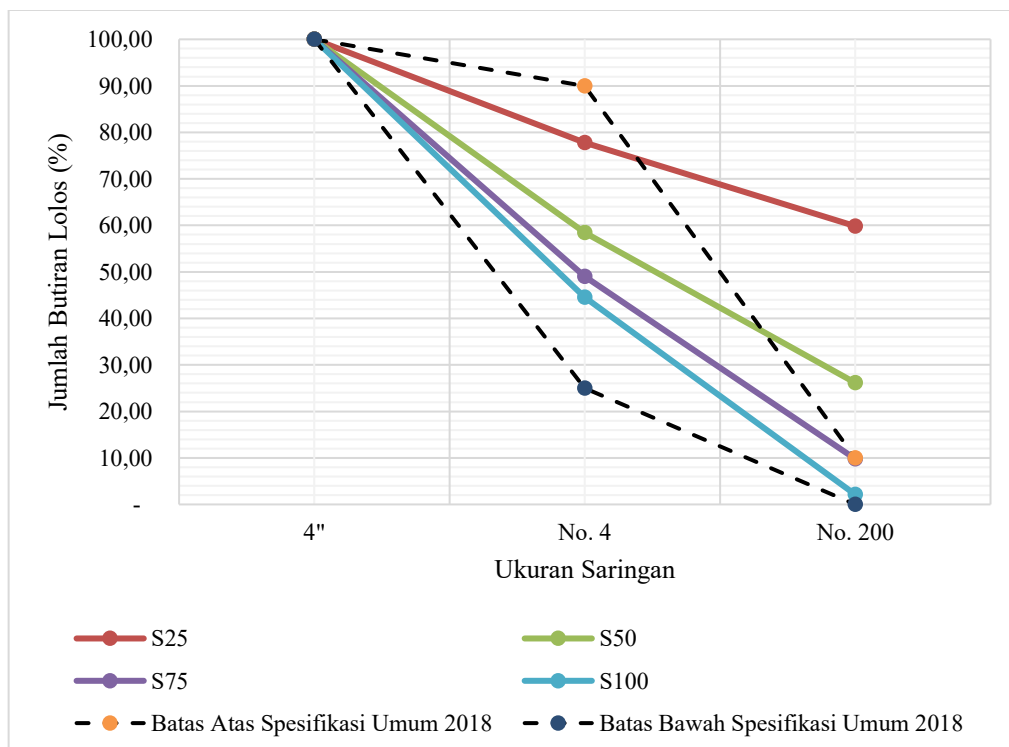
Tabel 4.6. Nilai Perhitungan Analisis Saringan Komposisi S100

Material 100% SCW + 0% TA				Material 100% SCW + 0% TA				AVERAGE
Weight of sample : 5046,0 Gram				Weight of sample : 5179,4 Gram				
Sieve	Cumulative Weight			Sieve	Cumulative Weight			
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass	
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)	
4"	0	0	100	4"	0	0	100	100
No. 4	2812	55,73	44,27	No. 4	2860	55,23	44,77	44,52
No. 200	4931	97,72	2,28	No. 200	5078	98,04	1,96	2,12
Pan	5046	100,00	0,00	Pan	5179	100,00	0,00	0,00

(Sumber : Analisis Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil perhitungan gradasi butiran pada **Tabel 4.6.** dengan komposisi campuran 100% *Stone Crusher Waste* + 0% Tanah Asli, material yang lolos ayakan ukuran 4" sebesar 100%, No. 4 sebesar 44,52%, dan No. 200 sebesar 2,12%.

Dari hasil pengujian analisis saringan pada masing-masing sampel di atas diperoleh grafik gradasi butiran sebagai berikut :



Gambar 4.1. Grafik Gradasi Butiran

Gradasi butiran dibandingkan dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Berdasarkan spesifikasi tersebut, material timbunan harus memenuhi ketentuan: 100% lolos ayakan 4" (100 mm), 25–90% lolos ayakan No. 4 (4,75 mm), dan 0–10% lolos ayakan No. 200 (0,075 mm). Batas atas dan batas bawah pada **Gambar 4.1.** menunjukkan spesifikasi dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Berdasarkan hasil analisis saringan, seluruh sampel campuran menunjukkan material lolos 100% pada saringan 4" (100 mm). Material murni *Stone Crusher Waste* (100%) menunjukkan lolos saringan No. 4 sebesar 44,52% dan No. 200 sebesar 2,12%. Semakin tinggi persentase *Stone Crusher Waste*, semakin tinggi agregat kasarnya.

Dari kurva pada **Gambar 4.1.** dapat diamati bahwa hanya campuran 100% *Stone Crusher Waste* dan 75% *Stone Crusher Waste* + 25% Tanah Asli yang berada sepenuhnya di dalam batas atas dan batas bawah sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018. Hal ini menunjukkan bahwa kedua campuran tersebut memenuhi persyaratan sebagai material untuk timbunan berbutir.

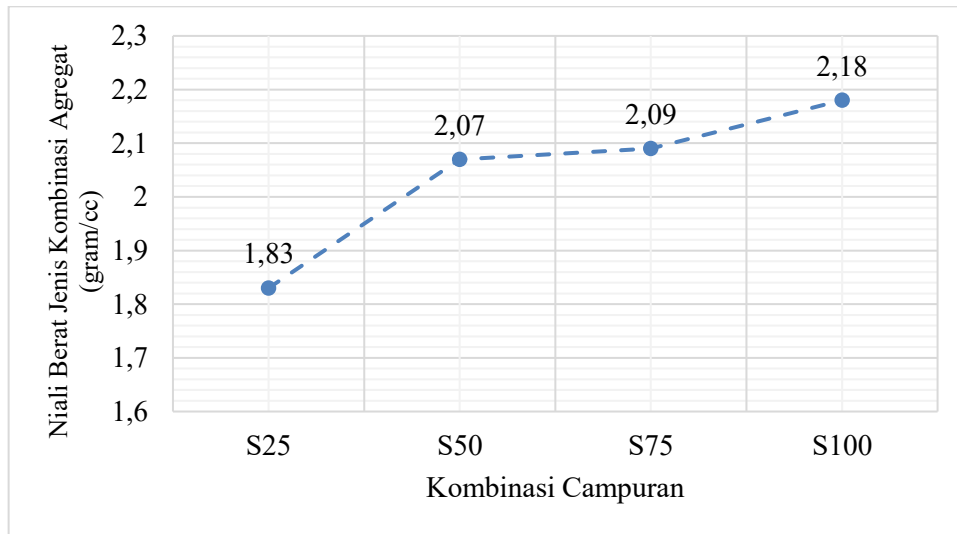
4.4.2. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Pengujian berat jenis dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) buah benda uji seberat ± 500 gram untuk masing-masing campuran. Hasil pengujian berat jenis pada sampel S25 (25% *Stone Crusher Waste*), S50 (50% *Stone Crusher Waste*), S75 (75% *Stone Crusher Waste*), & S100 (100% *Stone Crusher Waste*) dapat dilihat pada **Tabel 4.7.**

Tabel 4.7. Nilai Perhitungan Berat Jenis dengan Berbagai Komposisi Campuran *Stone Crusher Waste* dan Tanah Asli

Komposisi Campuran	Berat Jenis Agregat Kasar (gram/cc)	Berat Jenis Agregat Halus (gram/cc)	Persentase Komposisi Agregat Kasar (%)	Persentase Komposisi Agregat Halus (%)	Berat Jenis Kombinasi Agregat (gram/cc)
S25	2,23	1,72	22,20	77,81	1,83
S50	2,21	1,86	58,49	41,51	2,07
S75	2,24	1,93	51,02	48,99	2,09
S100	2,27	2,07	55,48	44,52	2,18

Dari hasil berat jenis pada masing-masing sampel di atas diperoleh grafik gradasi butiran sebagai berikut :



Gambar 4.2. Grafik Berat Jenis Agregat Berdasarkan Komposisi Campuran *Stone Crusher Waste* dan Tanah Asli

Berdasarkan hasil pengujian, nilai berat jenis meningkat seiring penambahan proporsi *Stone Crusher Waste*, dari 1,83 g/cm³ (25% *Stone Crusher Waste*) menjadi 2,18 g/cm³ (100% *Stone Crusher Waste*). Hal ini mengindikasikan bahwa *Stone Cruher Waste* memiliki densitas partikel yang lebih tinggi daripada tanah asli, dan berkontribusi terhadap peningkatan daya dukung material campuran.

4.4.3. Kadar Air

Dalam pengujian kadar air pada material ini, digunakan 2 (dua) buah benda uji pada masing-masing komposisi campuran *Stone Crusher Waste* dan tanah asli. Hasil pengujian kadar air pada sampel S25 (25% *Stone Crusher Waste*), S50 (50% *Stone Crusher Waste*), S75 (75% *Stone Crusher Waste*), & S100 (100% *Stone Crusher Waste*) dapat dilihat pada **Tabel 4.8.** – **Tabel 4.11.**

Berikut hasil pengujian kadar air pada sampel S25 (25% *Stone Crusher Waste* + 75% Tanah Asli) terlihat pada **Tabel 4.8**:

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Kadar Air pada Sampel S25

25% Stone Crusher Waste + 75% Tanah Asli			
No.	Nomor Cawan	Sampel 1	Sampel 2
1	Berat Cawan + Tanah Basah gram	15,10	15,30
2	Berat Cawan + Tanah Kering gram	14,58	14,79
3	Berat air (1-2) gram	0,52	0,51
4	Berat Cawan gram	11,20	11,40
5	Berat Tanah Kering (2-4) gram	3,38	3,39
6	Kadar Air ($3/5 * 100$) %	15,36	15,21
7	Kadar Air Rata-rata %	15,28	

Berdasarkan **Tabel 4.8**, hasil pengujian kadar air pada komposisi S25 menghasilkan nilai kadar air 15,28%.

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Kadar Air pada Sampel S50

50% Stone Crusher Waste + 50% Tanah Asli			
No.	Nomor Cawan	Sampel 1	Sampel 2
1	Berat Cawan + Tanah Basah gram	14,90	15,20
2	Berat Cawan + Tanah Kering gram	14,40	14,68
3	Berat air (1-2) gram	0,50	0,52
4	Berat Cawan gram	11,20	11,40
5	Berat Tanah Kering (2-4) gram	3,20	3,28
6	Kadar Air ($3/5 * 100$) %	15,69	15,75
7	Kadar Air Rata-rata %	15,72	

Berdasarkan **Tabel 4.9**, hasil pengujian kadar air pada komposisi S50 menghasilkan nilai kadar air 15,72%.

Tabel 4.10. Hasil Pengujian Kadar Air pada Sampel S75

75% Stone Crusher Waste + 25% Tanah Asli			
No.	Nomor Cawan	Sampel 1	Sampel 2
1	Berat Cawan + Tanah Basah gram	15,40	15,80
2	Berat Cawan + Tanah Kering gram	14,82	15,19
3	Berat air (1-2) gram	0,58	0,61
4	Berat Cawan gram	11,20	11,40
5	Berat Tanah Kering (2-4) gram	3,62	3,79
6	Kadar Air ($3/5 * 100$) %	16,11	16,03
7	Kadar Air Rata-rata %	16,07	

Berdasarkan **Tabel 4.10**, hasil pengujian kadar air pada komposisi S75 menghasilkan nilai kadar air 16,07%.

Tabel 4.11. Hasil Pengujian Kadar Air pada Sampel S100

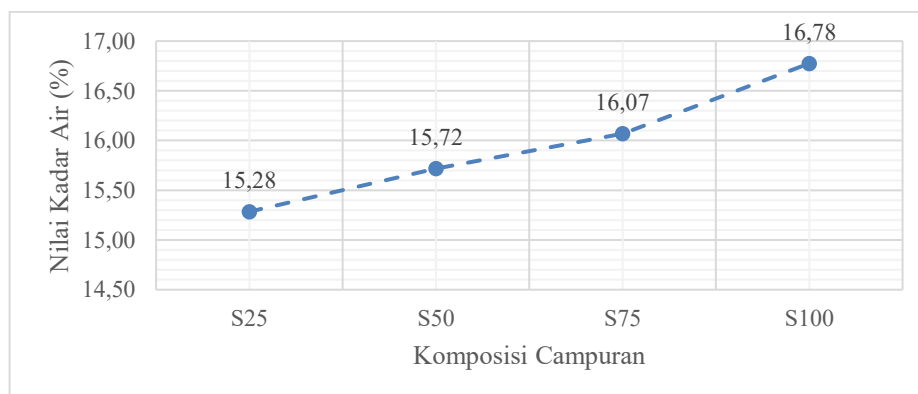
100% Stone Crusher Waste + 0% Tanah Asli			
No.	Nomor Cawan	Sampel 1	Sampel 2
1	Berat Cawan + Tanah Basah gram	15,10	15,50
2	Berat Cawan + Tanah Kering gram	14,55	14,90
3	Berat air (1-2) gram	0,55	0,60
4	Berat Cawan gram	11,20	11,40
5	Berat Tanah Kering (2-4) gram	3,35	3,50
6	Kadar Air ($3/5 * 100$) %	16,57	16,98
7	Kadar Air Rata-rata %	16,78	

Berdasarkan **Tabel 4.11**, hasil pengujian kadar air pada komposisi S100 menghasilkan nilai kadar air 16,78%.

Berikut adalah rekapan dari hasil pengujian kadar air pada masing-masing sampel di atas terlihat pada **Tabel 4.12.** dan grafik pada **Gambar 4.3.**

Tabel 4.12. Rekap Hasil Pengujian Kadar Air

Komposisi Campuran	Nilai Kadar Air (%)
S25	15,28
S50	15,72
S75	16,07
S100	16,78



Gambar 4.3. Grafik Hasil Pengujian Kadar Air

Berdasarkan **Gambar 4.3**, Kadar air pada campuran meningkat secara bertahap dari 15,28% menjadi 16,78% seiring meningkatnya kandungan *Stone Crusher*

Waste. Hal ini mengindikasikan bahwa *Stone Crusher Waste* memiliki kemampuan menyerap dan mempertahankan air lebih tinggi dibandingkan tanah asli. Kadar air yang terlalu tinggi dapat mengganggu proses pemadatan dan menurunkan nilai CBR. Namun, dalam hasil penelitian, peningkatan kadar air ini tidak menurunkan nilai CBR secara signifikan, karena peningkatan SCW justru memberi kontribusi positif terhadap daya dukung.

4.4.4. Kadar Lumpur

Dalam pengujian kadar lumpur pada material ini, digunakan 2 (dua) buah benda uji pada masing-masing komposisi campuran *Stone Crusher Waste* dan tanah asli. Hasil pengujian kadar lumpur pada sampel S25 (25% *Stone Crusher Waste*), S50 (50% *Stone Crusher Waste*), S75 (75% *Stone Crusher Waste*), & S100 (100% *Stone Crusher Waste*) dapat dilihat pada **Tabel 4.13. – Tabel 4.16.**

Tabel 4.13. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Komposisi S25

S25 25% SCW + 100% TA		Ukuran Maksimum Agregat (No. 4 (4,75 mm))		Satuan
		I	II	
Berat Kering Benda Uji + Wadah	w1	547,1	598,5	Gram
Berat Wadah	w2	11,4	11,2	Gram
Berat Kering Benda Uji Awal	$W3 = (W1 - W2)$	535,7	587,3	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian + Wadah	w4	214,2	242,6	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian	$W5 = (W4 - W2)$	202,8	231,4	Gram
Persen Bahan Lolos Saringan No 200 (0,075 mm)	$W6 = ((W3 - W5)/W3) * 100$	62,14	60,60	%
Rata-rata		61,37		%

Berdasarkan **Tabel 4.13**, pengujian kadar lumpur pada komposisi S25 menghasilkan nilai kadar lumpur 61,37%.

Tabel 4.14. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Komposisi S50

S50 50% SCW + 50% TA		Ukuran Maksimum Agregat (No. 4 (4,75 mm))		Satuan
		I	II	
Berat Kering Benda Uji + Wadah	w1	533,8	551,7	Gram
Berat Wadah	w2	11,4	11,2	Gram
Berat Kering Benda Uji Awal	$W3 = (W1 - W2)$	522,4	540,5	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian + Wadah	w4	392,3	395,6	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian	$W5 = (W4 - W2)$	380,9	384,4	Gram
Persen Bahan Lolos Saringan No 200 (0,075 mm)	$W6 = ((W3 - W5)/W3)*100$	27,08	28,89	%
Rata-rata		27,98		%

Berdasarkan **Tabel 4.14**, pengujian kadar lumpur pada komposisi S50 menghasilkan nilai kadar lumpur 27,98%.

Tabel 4.15. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Komposisi S75

S75 75% SCW + 25% TA		Ukuran Maksimum Agregat (No. 4 (4,75 mm))		Satuan
		I	II	
Berat Kering Benda Uji + Wadah	w1	567,4	573,4	Gram
Berat Wadah	w2	11,4	11,2	Gram
Berat Kering Benda Uji Awal	$W3 = (W1 - W2)$	556	562,2	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian + Wadah	w4	505,6	520,1	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian	$W5 = (W4 - W2)$	494,2	508,9	Gram
Persen Bahan Lolos Saringan No 200 (0,075 mm)	$W6 = ((W3 - W5)/W3)*100$	11,12	9,49	%
Rata-rata		10,30		%

Berdasarkan **Tabel 4.15**, pengujian kadar lumpur pada komposisi S75 menghasilkan nilai kadar lumpur 10,30%.

Tabel 4.16. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Komposisi S100

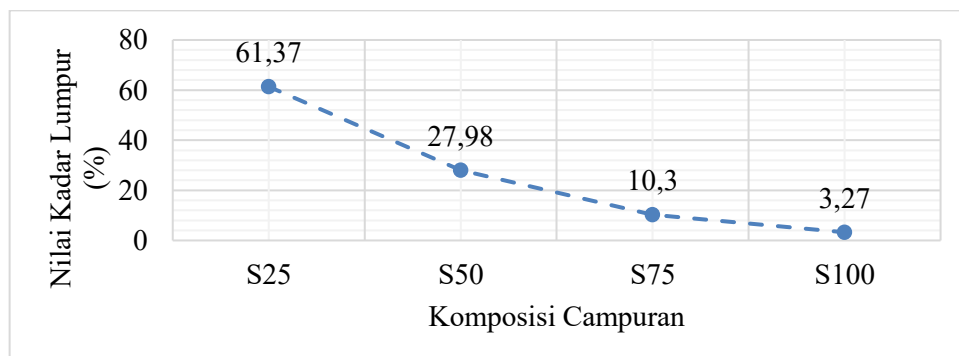
S100 100% SCW + 0% TA		Ukuran Maksimum Agregat (No. 4 (4,75 mm))		Satuan
		I	II	
Berat Kering Benda Uji + Wadah	w1	543,1	561,8	Gram
Berat Wadah	w2	11,4	11,2	Gram
Berat Kering Benda Uji Awal	$w3 = (w1 - w2)$	531,7	550,6	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian + Wadah	w4	529,5	539,9	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian	$w5 = (w4 - w2)$	518,1	528,7	Gram
Persen Bahan Lolos Saringan No 200 (0,075 mm)	$w6 = ((w3 - w5)/w3) * 100$	2,55	3,98	%
Rata-rata		3,27		%

Berdasarkan **Tabel 4.16**, pengujian kadar lumpur pada komposisi S100 menghasilkan nilai kadar lumpur 3,27%.

Berikut adalah rekapitan dari hasil pengujian kadar air pada masing-masing sampel di atas terlihat pada **Tabel 4.17**. dan grafik pada **Gambar 4.4**.

Tabel 4.17. Rekap Nilai Pengujian Kadar Lumpur

Komposisi Campuran	Kadar Lumpur (%)
S25	61,37
S50	27,98
S75	10,30
S100	3,27

**Gambar 4.4.** Grafik Hasil Pengujian Kadar Lumpur

Dari hasil tersebut, terlihat bahwa kadar lumpur menurun secara signifikan seiring meningkatnya proporsi *Stone Crusher Waste*. Penurunan kadar lumpur

terjadi karena proporsi tanah asli yang tinggi menjadi penyumbang utama lumpur, dan penambahan *Stone Crusher Waste* secara progresif menggantikan partikel lumpur dengan agregat kasar yang lebih bersih. Oleh sebab itu, komposisi 100% *Stone Crusher Waste* menghasilkan kadar lumpur paling rendah dan sangat cocok sebagai material timbunan yang stabil dan mudah dipadatkan.

4.4.5. Batas Atterberg

Batas cair, batas plastis dan plastis indeks diukur melalui pengujian batas Atterberg, yang berfungsi untuk mengevaluasi perilaku plastisitas tanah akibat pencampuran *Stone Crusher Waste*, guna mengetahui kestabilannya terhadap perubahan kadar air.

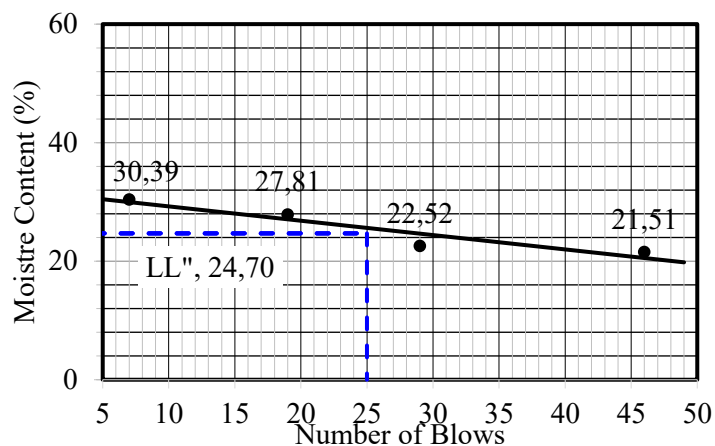
A. Batas Cair

Berikut hasil pengujian batas cair pada sampel S25 (25% *Stone Crusher Waste*), S50 (50% *Stone Crusher Waste*), S75 (75% *Stone Crusher Waste*), & S100 (100% *Stone Crusher Waste*) dapat dilihat pada **Tabel 4.18. – Tabel 4.21.**

Tabel 4.18. Hasil Batas Cair pada Sampel S25

Test - Tool			Liquid Limits			
Container / No of blow			1 7	2 19	3 29	4 46
a		Wt. of container + wet soil	51,30	54,60	52,20	53,20
b		Wt. of container + dry soil	42,00	45,20	44,70	45,80
c	a - b	Wt. of moisture	9,30	9,40	7,50	7,40
d		Wt. of container	11,40	11,40	11,40	11,40
e	b - d	Wt. of dry soil	30,60	33,80	33,30	34,40
f	c/e*100	Moisture Content	30,39	27,81	22,52	21,51

Berdasarkan hasil perhitungan batas cair pada **Tabel 4.18**, maka dapat diperoleh grafik batas cair untuk sampel S25 seperti **Gambar 4.5.**



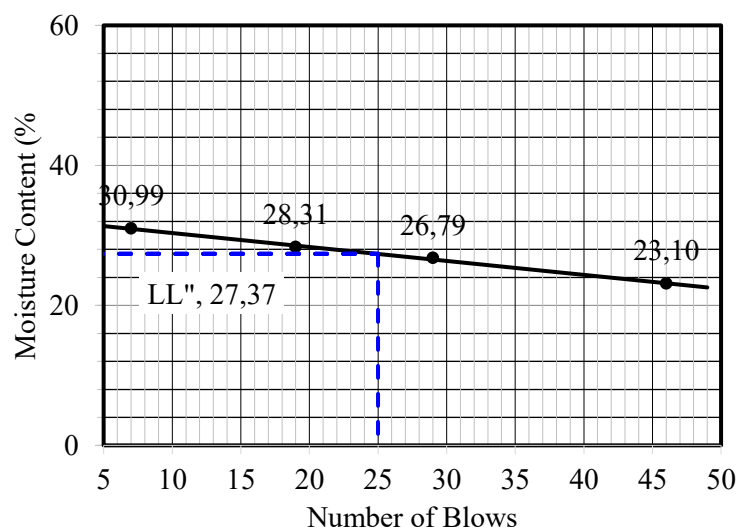
Gambar 4.5. Grafik Batas Cair pada Sampel S25

Berdasarkan **Gambar 4.5**, kadar air pada pukulan ke-25 pada sampel S25 didapatkan hasil sebesar 24,70%.

Tabel 4.19. Hasil Batas Cair pada Sampel S50

Test - Tool			Liquid Limits			
Container / No of blow			1 7	2 19	3 29	4 46
a		Wt. of container + wet soil	52,40	53,10	54,00	51,90
b		Wt. of container + dry soil	42,70	43,90	45,00	44,30
c	a - b	Wt. of moisture	9,70	9,20	9,00	7,60
d		Wt. of container	11,40	11,40	11,40	11,40
e	b - d	Wt. of dry soil	31,30	32,50	33,60	32,90
f	c/e*100	Moisture Content	30,99	28,31	26,79	23,10

Berdasarkan hasil perhitungan batas cair pada **Tabel 4.19**, maka dapat diperoleh grafik batas cair untuk sampel S50 seperti **Gambar 4.6**.



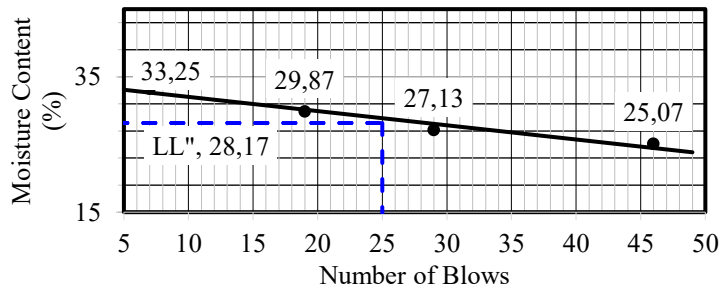
Gambar 4.6. Grafik Batas Cair pada Sampel S50

Berdasarkan **Gambar 4.6**, kadar air pada pukulan ke-25 pada sampel S50 didapatkan hasil sebesar 27,37%.

Tabel 4.20. Hasil Batas Cair pada Sampel S75

Test - Tool			Liquid Limits			
Container / No of blow			1 7	2 19	3 29	4 46
a		Wt. of container + wet soil	54,30	52,70	53,10	53,80
b		Wt. of container + dry soil	43,60	43,20	44,20	45,30
c	a - b	Wt. of moisture	10,70	9,50	8,90	8,50
d		Wt. of container	11,40	11,40	11,40	11,40
e	b - d	Wt. of dry soil	32,20	31,80	32,80	33,90
f	c/e*100	Moisture Content	33,25	29,87	27,13	25,07

Berdasarkan hasil perhitungan batas cair pada **Tabel 4.20**, maka dapat diperoleh grafik batas cair untuk sampel S75 seperti **Gambar 4.7**.



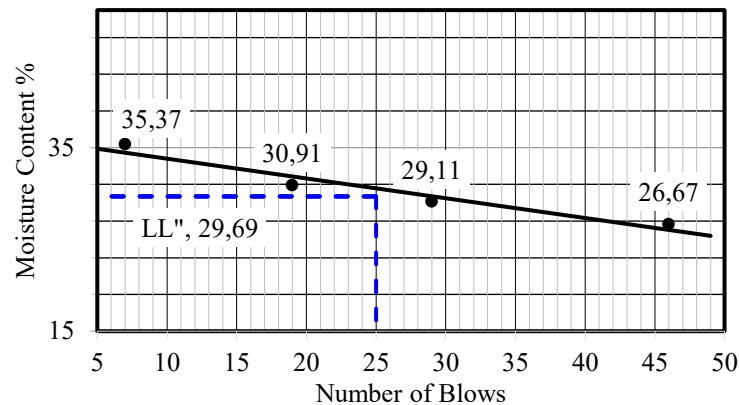
Gambar 4.7. Grafik Batas Cair pada Sampel S75

Berdasarkan **Gambar 4.7**, kadar air pada pukulan ke-25 pada sampel S75 didapatkan hasil pengujian sebesar 28,17%.

Tabel 4.21. Hasil Batas Cair pada Sampel S100

Test - Tool			Liquid Limits			
Container / No of blow			1 7	2 19	3 29	4 46
a		Wt. of container + wet soil	51,20	54,60	52,20	53,20
b		Wt. of container + dry soil	40,80	44,40	43,00	44,40
c	a - b	Wt. of moisture	10,40	10,20	9,20	8,80
d		Wt. of container	11,40	11,40	11,40	11,40
e	b - d	Wt. of dry soil	29,40	33,00	31,60	33,00
f	c/e*100	Moisture Content	35,37	30,91	29,11	26,67

Berdasarkan hasil perhitungan batas cair pada **Tabel 4.21**, maka dapat diperoleh grafik batas cair untuk sampel S100 seperti **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8. Grafik Batas Cair pada Sampel S100

Berdasarkan **Gambar 4.8**, kadar air pada pukulan ke-25 pada sampel S100 didapatkan hasil pengujian sebesar 29,69%.

B. Batas Plastis

Berikut hasil pengujian batas plastis pada sampel S25 (25% *Stone Crusher Waste*), S50 (50% *Stone Crusher Waste*), S75 (75% *Stone Crusher Waste*), & S100 (100% *Stone Crusher Waste*) dapat dilihat pada **Tabel 4.22.** – **Tabel 4.25**.

Tabel 4.22. Hasil Batas Plastis pada Sampel S25

Test - Tool				Plastic Limit		
Container / No of blow				A	B	Average
a		Wt. of container + wet soil	Grm.	15,30	15,10	
b		Wt. of container + dry soil	Grm.	14,74	14,56	
c	a - b	Wt. of moisture	Grm.	0,56	0,54	
d		Wt. of container	Grm.	11,40	11,40	
e	b - d	Wt. of dry soil	Grm.	3,34	3,16	
f	c/e*100	Moisture Content	%	16,68	16,93	16,81

Berdasarkan **Tabel 4.22**, nilai kadar air yang dihasilkan dari pengujian batas plastis pada sampel S25 adalah 16,81%.

Tabel 4.23. Hasil Batas Plastis pada Sampel S50

Test - Tool				Plastic Limit		
Container / No of blow				A	B	Average
a		Wt. of container + wet soil	Grm.	16,60	17,20	
b		Wt. of container + dry soil	Grm.	15,80	16,10	
c	a - b	Wt. of moisture	Grm.	0,80	1,10	
d		Wt. of container	Grm.	11,40	11,40	
e	b - d	Wt. of dry soil	Grm.	4,40	4,70	
f	c/e*100	Moisture Content	%	18,18	23,40	20,79

Berdasarkan **Tabel 4.23**, nilai kadar air yang dihasilkan dari pengujian batas plastis pada sampel S50 adalah 20,79%.

Tabel 4.24. Hasil Batas Plastis pada Sampel S75

Test - Tool				Plastic Limit		
Container / No of blow				A	B	Average
a		Wt. of container + wet soil	Grm.	16.30	16.80	
b		Wt. of container + dry soil	Grm.	15.36	15.80	
c	a - b	Wt. of moisture	Grm.	0.94	1.00	
d		Wt. of container	Grm.	11.40	11.40	
e	b - d	Wt. of dry soil	Grm.	3.96	4.40	
f	c/e*100	Moisture Content	%	23.66	22.74	23.20

Berdasarkan **Tabel 4.24**, nilai kadar air yang dihasilkan dari pengujian batas plastis pada sampel S75 adalah 23,20%.

Tabel 4.25. Hasil Batas Plastis pada Sampel S100

Test - Tool				Plastic Limit		
Container / No of blow				A	B	Average
a		Wt. of container + wet soil	Grm.	15.20	15.60	
b		Wt. of container + dry soil	Grm.	14.40	14.80	
c	a - b	Wt. of moisture	Grm.	0.80	0.80	
d		Wt. of container	Grm.	11.40	11.40	
e	b - d	Wt. of dry soil	Grm.	3.00	3.40	
f	c/e*100	Moisture Content	%	26.67	23.53	25.10

Berdasarkan **Tabel 4.25**, nilai kadar air yang dihasilkan dari pengujian batas plastis pada sampel S100 adalah 25,10%.

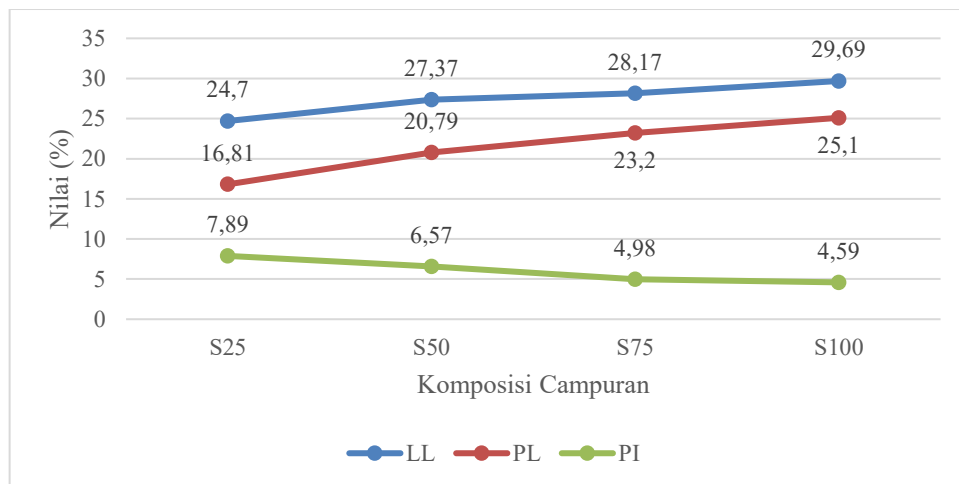
Setelah diketahui batas cair dan batas plastisnya, maka dapat dihitung nilai indkes plastisnya (PI) seperti pada **Tabel 4.26**.

$$\begin{aligned} \text{PI} &= \text{LL} - \text{PL} \\ &= 24,70 \% - 16,81 \% \\ &= 7,89 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.26. Hasil Perhitungan Batas Cair, Batas Plastis, dan Plastis Indeks

Komposisi Campuran	LL (%)	PL (%)	PI (%)
25% SCW + 75% TA	24,70	16,81	7,89
50% SCW + 50% TA	27,37	20,79	6,57
75% SCW + 25% TA	28,17	23,20	4,98
100% SCW + 0% TA	29,69	25,10	4,59

Berdasarkan **Tabel 4.26**, maka didapatkan grafik hasil pengujian Batas Cair, Batas Plastis dan Plastis Indeks seperti yang terlihat pada **Gambar 4.9**.



Gambar 4.9. Grafik Nilai Batas Cair, Batas Plastis, dan Plastis Indeks

Pada hasil pengujian, nilai LL dan PL mengalami kenaikan seiring bertambahnya proporsi *Stone Crusher Waste*. Peningkatan nilai *Liquid Limit* (LL) dan *Plastic Limit* (PL) pada komposisi campuran dengan kadar *Stone Crusher Waste* yang lebih tinggi disebabkan oleh kandungan fraksi halus reaktif yang masih terdapat dalam

Stone Crusher Waste. Meskipun gradasi butiran *Stone Crusher Waste* lebih dominan material berbutir kasar, hasil pengujian menunjukkan bahwa partikel halus dari debu batu pada *Stone Crusher Waste* memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi.

Debu batu tersebut memperbesar kapasitas ikatan air pada campuran, sehingga tanah memerlukan lebih banyak air untuk mencapai kondisi plastis maupun cair. Oleh karena itu, nilai LL dan PL meningkat secara berurutan dari komposisi 25% hingga 100% *Stone Crusher Waste*.

Penurunan nilai PI mencerminkan bahwa material campuran menjadi semakin rendah tingkat plastisitasnya. Berdasarkan klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS), nilai $PI < 10\%$ termasuk dalam kategori plastisitas rendah. Material dengan plastisitas rendah memiliki kecenderungan lebih stabil terhadap perubahan volume saat kondisi jenuh atau kering, sehingga lebih sesuai digunakan sebagai lapisan *subgrade* yang memerlukan kestabilan bentuk dan kekuatan.

Nilai PI yang rendah juga menunjukkan bahwa pencampuran *Stone Crusher Waste* dapat menurunkan sifat kohesif tanah, menjadikannya lebih granular dan cenderung menunjukkan perilaku seperti agregat. Hal ini menjadi indikator positif dalam perencanaan konstruksi perkerasan jalan di mana deformasi plastis harus dihindari.

4.4.6. Proctor Standard

Pengujian Proctor Standard ini menggunakan tingkat air yang berbeda untuk setiap sampel guna menentukan kadar air optimum (W_{opt}) dan kepadatan kering maksimum (γ_d). Berikut hasil pengujian *proctor standard* pada sampel S25 (25% *Stone Crusher Waste*), S50 (50% *Stone Crusher Waste*), S75 (75% *Stone Crusher Waste*), & S100 (100% *Stone Crusher Waste*) dapat dilihat pada **Tabel 4.27. – Tabel 4.30.**

Tabel 4.27. Nilai Perhitungan *Proctor Standard* pada Sampel S25

Volume of Mould (A)		:	2101	Cm ³					
Weight of Mould (B)		:	6960	Gr.					
95% Max density ρ_d		:	1,679	Gr/cm ³ .					
a	Compaction	Required Mc at sample		Cc.	0 cc	100 cc	200 cc	300 cc	400 cc
e		Wt. of Mould+Wet Sample		Gr.	11025,4	11227,1	11437,2	11304,9	11210,3
b		Wt. of Wet Sample	b - B	Gr.	4065	4267	4477	4345	4250
c		Wet Density	c/A	Gr/cm ³	1,935	2,031	2,131	2,068	2,023
1	Moisture Content	Container No.			1	2	3	4	5
2		Wt. Container+Wet Sample		Gr.	27,6	31,9	36,2	42,7	39,5
3		Wt. Container+dry Sample		Gr.	25,4	28,9	32,1	37,2	34,2
4		Wt. of Water	2-3	Gr.	2,2	3,0	4,1	5,5	5,3
5		Wt. of Container		Gr.	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
6		Wt. of Dry Sample	3-5	Gr.	14,0	17,5	20,7	25,8	22,8
7		Moisture Content	4/6*100	%	16,04	17,20	19,60	21,41	23,13
8	Dry Density		$\frac{g}{100+7} \times 100$	Gr/cm ³	1,668	1,733	1,782	1,703	1,643

Tabel 4.27 perhitungan pada pengujian *Proctor Standard* sampel S25. Penambahan air dilakukan bertahap dari 0 cc hingga 400 cc. Seiring bertambahnya air, kadar air meningkat dari 16,04% hingga 23,13%. Nilai kepadatan kering juga mengalami perubahan, diawali dari 1,668 gr/cm³, mencapai puncak 1,782 gr/cm³ pada kadar air sekitar 19,60%, lalu menurun kembali pada penambahan air berikutnya. Pola ini menunjukkan adanya titik kadar air optimum, yaitu kondisi kadar air di mana kepadatan kering maksimum tercapai.

Tabel 4.28. Nilai Perhitungan *Proctor Standard* pada Sampel S50

Volume of Mould (A)		:	2101	Cm ³					
Weight of Mould (B)		:	6960	Gr.					
95% Max density ϑ d		:	1,646	Gr/cm ³ .					
a	Compaction	Required Mc at sample		Cc.	0 cc	100 cc	200 cc	300 cc	400 cc
b		Wt. of Mould+Wet Sample		Gr.	10870,0	11111,6	11166,2	11229,2	11115,8
c		Wt. of Wet Sample	b - B	Gr.	3910	4152	4206	4269	4156
d		Wet Density	c/A	Gr/cm ³	1,861	1,976	2,002	2,032	1,978
1	Moisture Content	Container No.			1	2	3	4	5
2		Wt. Container+Wet Sample		Gr.	33,8	37,0	40,6	47,9	44,1
3		Wt. Container+dry Sample		Gr.	31,2	33,7	36,4	41,9	38,3
4		Wt. of Water	2-3	Gr.	2,6	3,3	4,2	6,0	5,8
5		Wt. of Container		Gr.	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
6		Wt. of Dry Sample	3-5	Gr.	19,8	22,3	25,0	30,5	26,9
7		Moisture Content	4/6*100	%	13,11	14,63	16,61	19,81	21,43
8	Dry Density $\frac{g}{100+7} \times 100$			Gr/cm ³	1,645	1,724	1,717	1,696	1,629

Tabel 4.28 menampilkan perhitungan pada pengujian *Proctor Standard* sampel S50. Penambahan air dilakukan bertahap dari 0 cc hingga 400 cc. Seiring bertambahnya air, kadar air meningkat dari 13,11% hingga 21,43%. Nilai kepadatan kering juga mengalami perubahan, diawali dari 1,645 gr/cm³, mencapai puncak 1,724 gr/cm³ pada kadar air sekitar 14,63%, lalu menurun kembali pada penambahan air berikutnya. Pola ini menunjukkan adanya titik kadar air optimum, yaitu kondisi kadar air di mana kepadatan kering maksimum tercapai.

Tabel 4.29. Nilai Perhitungan *Proctor Standard* pada Sampel S75

Volume of Mould (A)		:	2101	Cm ³						
Weight of Mould (B)		:	6960	Gr.						
95% Max density ϑ d		:	1,592	Gr/cm ³ .						
a	Compaction	Required Mc at sample			Cc.	0 cc	100 cc	200 cc	300 cc	400 cc
b		Wt. of Mould+Wet Sample			Gr.	10794,3	10849,0	10979,2	11088,5	11023,3
c		Wt. of Wet Sample		b - B	Gr.	3834	3889	4019	4128	4063
d		Wet Density		c/A	Gr/cm ³	1,825	1,851	1,913	1,965	1,934
1	Moisture Content	Container No.				1	2	3	4	5
2		Wt. Container+Wet Sample			Gr.	46,8	51,3	55,7	53,1	56,4
3		Wt. Container+dry Sample			Gr.	43,3	46,9	50,1	47,0	49,1
4		Wt. of Water		2-3	Gr.	3,5	4,4	5,6	6,1	7,3
5		Wt. of Container			Gr.	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
6		Wt. of Dry Sample		3-5	Gr.	31,9	35,5	38,7	35,6	37,7
7		Moisture Content		4/6* 100	%	10,96	12,31	14,53	17,20	19,36
8	Dry Density $\frac{g}{100+7} \times 100$			Gr/cm ³	1,645	1,648	1,670	1,677	1,620	

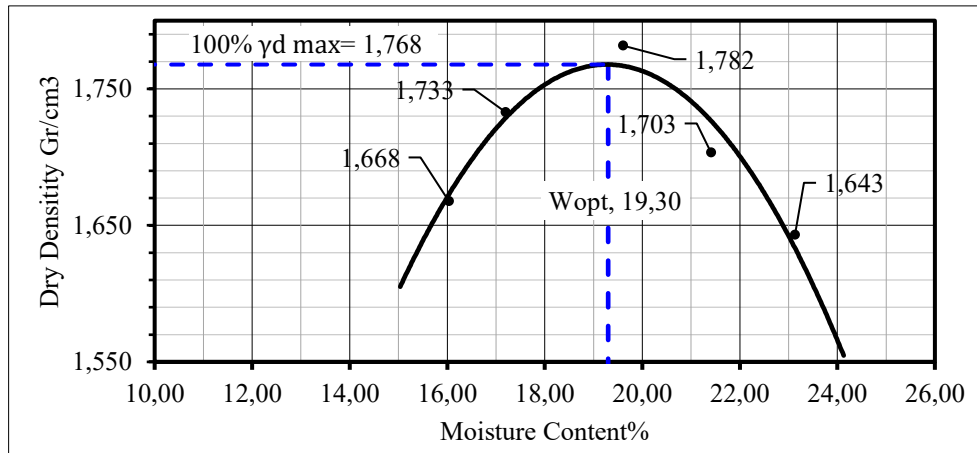
Tabel 4.29 menampilkan perhitungan pada pengujian *Proctor Standard* sampel S75. Penambahan air dilakukan bertahap dari 0 cc hingga 400 cc. Seiring bertambahnya air, kadar air meningkat dari 10,96% hingga 19,36%. Nilai kepadatan kering juga mengalami perubahan, diawali dari 1,645 gr/cm³, mencapai puncak 1,670 gr/cm³ pada kadar air sekitar 14,53%, lalu menurun kembali pada penambahan air berikutnya. Pola ini menunjukkan adanya titik kadar air optimum, yaitu kondisi kadar air di mana kepadatan kering maksimum tercapai.

Tabel 4.30. Nilai Perhitungan *Proctor Standard* pada Sampel S100

Volume of Mould (A)		:	2101	Cm ³					
Weight of Mould (B)		:	6960	Gr.					
95% Max density δ_d		:	1,569	Gr/cm ³ .					
a	Compaction	Required Mc at sample		Cc.	0 cc	100 cc	200 cc	300 cc	400 cc
b		Wt. of Mould+Wet Sample		Gr.	10654,2	10750,2	10826,2	10948,6	10949,8
c		Wt. of Wet Sample	b - B	Gr.	3694	3790	3866	3989	3990
d		Wet Density	c/A	Gr/cm ³	1,758	1,804	1,840	1,898	1,899
1	Moisture Content	Container No.			1	2	3	4	5
2		Wt. Container+Wet Sample		Gr.	48,6	52,4	58,6	55,2	55,6
3		Wt. Container+dry Sample		Gr.	45,6	48,6	53,6	49,4	49,0
4		Wt. of Water	2-3	Gr.	3,0	3,8	5,0	5,8	6,6
5		Wt. of Container		Gr.	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
6		Wt. of Dry Sample	3-5	Gr.	34,2	37,2	42,2	38,0	37,6
7		Moisture Content	4/6*100	%	8,77	10,22	11,85	15,26	17,55
8	Dry Density		$\frac{g}{100+7} \times 100$	Gr/cm ³	1,617	1,637	1,645	1,647	1,615

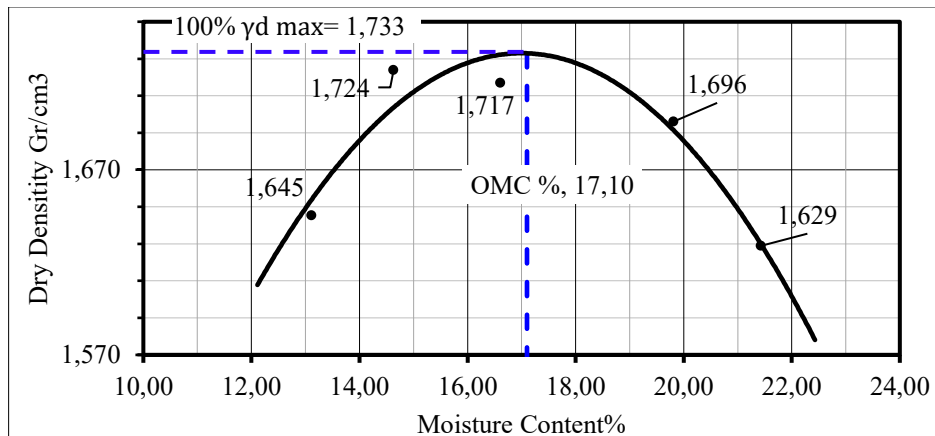
Tabel 4.30. menampilkan perhitungan pada pengujian *Proctor Standard* sampel S100. Penambahan air dilakukan bertahap dari 0 cc hingga 400 cc. Seiring bertambahnya air, kadar air meningkat dari 8,77% hingga 17,55%. Nilai kepadatan kering juga mengalami perubahan, diawali dari 1,617 gr/cm³, mencapai puncak 1,647 gr/cm³ pada kadar air sekitar 15,26%, lalu menurun kembali pada penambahan air berikutnya. Pola ini menunjukkan adanya titik kadar air optimum, yaitu kondisi kadar air di mana kepadatan kering maksimum tercapai.

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, didapatkan kadar air dan berat isi kering. Selanjutnya, hasil tersebut akan digunakan untuk menentukan kepadatan kering maksimum (γ_d max) dan kadar air optimum (W_{opt}) pada masing-masing sampel yang dapat dilihat pada **Gambar 4.10 – Gambar 4.13**.



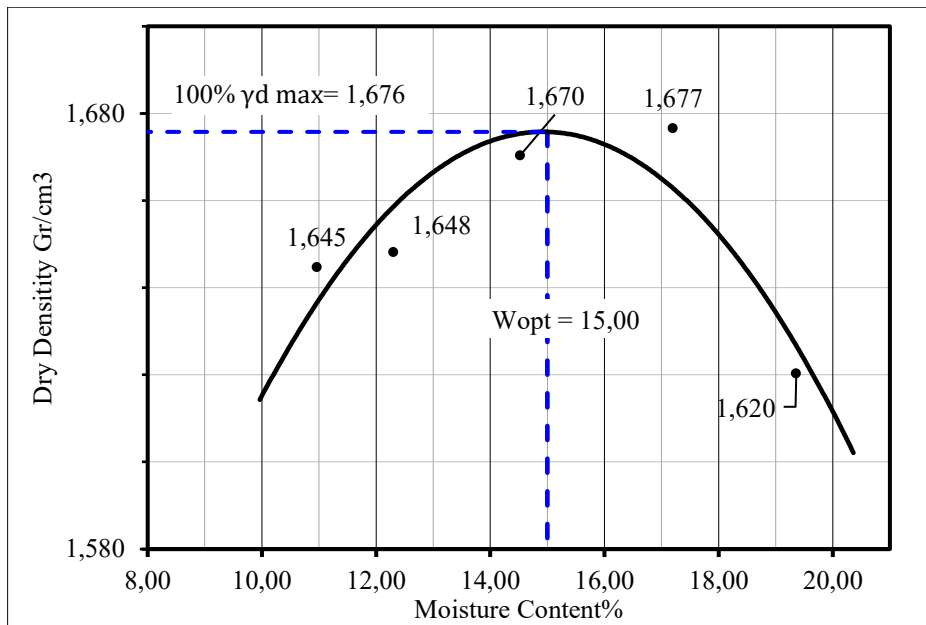
Gambar 4.10. Grafik W_{opt} pada Sampel S25

Gambar 4.10 menunjukkan hubungan antara kadar air dan berat isi kering tanah pada sampel S25. Berat isi kering meningkat seiring penambahan kadar air hingga mencapai γ_d max 1,768 gr/cm³ pada W_{opt} 19,30%, lalu menurun ketika kadar air melebihi nilai optimum.



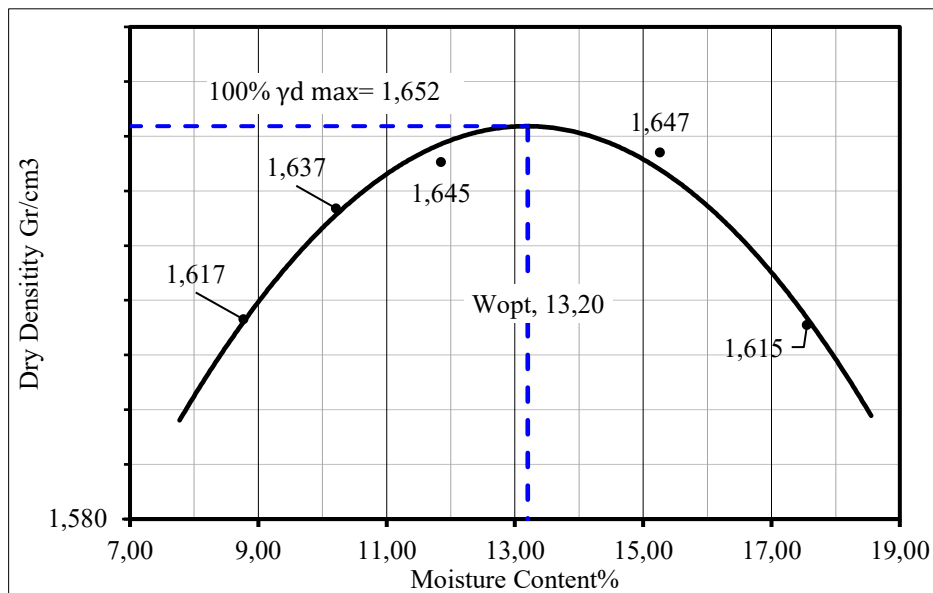
Gambar 4.11. Grafik W_{opt} pada Sampel S50

Gambar 4.11 menunjukkan hubungan antara kadar air dan berat isi kering tanah pada sampel S50. Berat isi kering meningkat seiring penambahan kadar air hingga mencapai γ_d max 1,733 gr/cm³ pada W_{opt} 17,10%, lalu menurun ketika kadar air melebihi nilai optimum.



Gambar 4.12. Grafik W_{opt} pada Sampel S75

Gambar 4.12 menunjukkan hubungan antara kadar air dan berat isi kering tanah pada sampel S75. Berat isi kering meningkat seiring penambahan kadar air hingga mencapai $\gamma_d \text{ max}$ 1,676 gr/cm^3 pada W_{opt} 15,00%, lalu menurun ketika kadar air melebihi nilai optimum.



Gambar 4.13. Grafik W_{opt} pada Sampel S100

Gambar 4.13 menunjukkan hubungan antara kadar air dan berat isi kering tanah pada sampel S100. Berat isi kering meningkat seiring penambahan kadar air

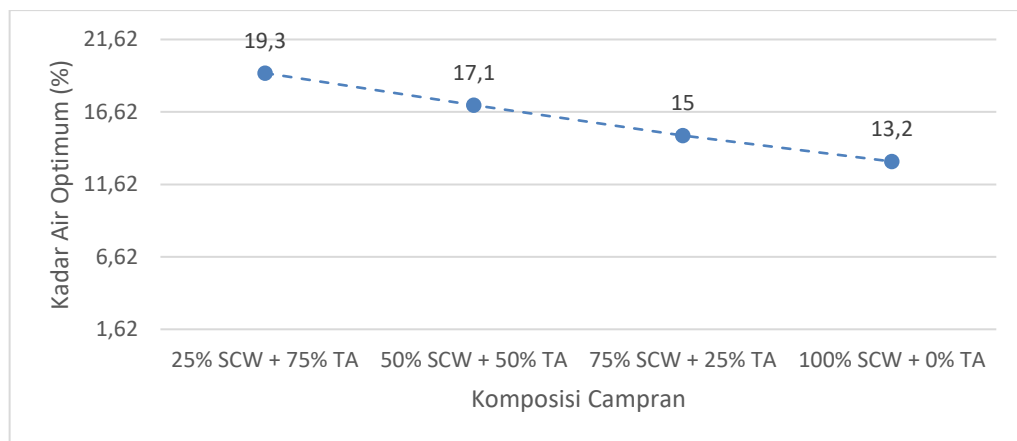
hingga mencapai $\gamma_d \text{ max } 1,652 \text{ gr/cm}^3$ pada $W_{\text{opt}} 13,20\%$, lalu menurun ketika kadar air melebihi nilai optimum.

Berikut rekap nilai kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum berdasarkan **Gambar 4.10 – Gambar 4.13**.

Tabel 4.31. Rekap Hasil Pengujian Proctor Standard

Komposisi Campuran	Kepadatan Kering Maksimum (gram/cm^3)	Kadar Air Optimum (%)
S25	1,77	19,30
S50	1,73	17,10
S75	1,68	15,00
S100	1,65	13,20

Dari tabel tersebut dapat diperoleh grafik kadar air optimum (W_{opt}) seperti pada **Gambar 4.15**.



Gambar 4.14. Grafik W_{opt} yang Menunjukkan Komposisi Campuran antara *Stone Crusher Waste* dan Tanah Asli

Hasil pengujian *Proctor* menunjukkan bahwa kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum mengalami penurunan seiring peningkatan *Stone Crusher Waste*. Hal ini menunjukkan bahwa *Stone Crusher Waste* mampu mengoptimalkan daya dukung *subgrade* karena semakin kecil kadar air maka karakteristik *subgrade*

semakin baik. Wopt material paling rendah diketahui pada campuran 100% *Stone Crusher Waste* + 0% Tanah Asli yakni 13,20%

4.4.7. California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) digunakan untuk menilai kapasitas dukung campuran terhadap beban, sebagai dasar evaluasi kelayakan material *subgrade*. Pada pengujian ini, sampel uji direndam selama 4 hari. Jumlah sampel yang digunakan sebanyak 3 (tiga) buah pada masing-masing komposisi campuran. Adapun 3 (tiga) sampel tersebut dibedakan berdasarkan jumlah tumbukan yang dilakukan pada masing-masing sampel yaitu 15 tumbukan, 35 tumbukan dan yang terakhir 65 tumbukan. Data hasil pengujian CBR yang menggunakan kadar air ideal dari hasil uji *Proctor Standard* ditunjukkan pada **Tabel 4.32 – Tabel 4.37**.

Tabel 4.32. Hasil Pengujian dengan 15 Tumbukan

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Cawan (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (c)
S25	1	11217	11,4	59,8	49,9
S50	2	11088	11,4	63,5	53,5
S75	3	10948	11,4	56,5	48,7
S100	4	10841	11,4	59,4	52

Tabel 4.33. Hasil Pengujian dengan 35 Tumbukan

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Cawan (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (c)
S25	1	11569	11,4	66,7	56,8
S50	2	11519	11,4	64,1	55,1
S75	3	11254	11,4	57,1	49,7
S100	4	11058	11,4	67,5	58,6

Tabel 4.34. Hasil Pengujian dengan 65 Tumbukan

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Cawan (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (c)
S25	1	11365	11,4	65,9	56,7
S50	2	11184	11,4	61,7	53,7
S75	3	12034	11,4	58,4	51,4
S100	4	11246	11,4	67,6	60

Data Alat :

Berat tabung = 7644 gram

Volume tabung = 2102 cm³

Analisis hasil perhitungan pengujian CBR :

Untuk masing-masing sampel pada setiap tumbukan, digunakan contoh perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Berat tanah basah} &= (\text{berat alat} + \text{tanah}) - \text{berat alat (alas + 1)} \\
 &= 12034 - 7644 \\
 &= 4390
 \end{aligned}$$

$$2. \text{ Berat volume tanah basah } (\gamma_b)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Berat Tanah Basah}}{\text{Volume Alat}} \\
 &= \frac{4390}{2102} \\
 &= 2,089 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$3. \text{ Kadar air (W)} = \frac{b-c}{c-a} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dimana: } a &= \text{Nilai Berat Cawan (gram)} \\
 b &= \text{Nilai Berat Cawan + Tanah Basah (gram)} \\
 c &= \text{Nilai Berat Cawan + Tanah Kering (gram)} \\
 &= \frac{58,4 - 51,4}{51,4 - 11,4} \\
 &= 17,50\%
 \end{aligned}$$

Berat jenis tanah kering (γ_k)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\gamma_b}{1 + w} \\
 &= \frac{2,089}{1 + 0,175} \\
 &= 1,778 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4.35 – Tabel 4.37 menunjukkan hasil data CBR yang telah diuji dengan perhitungan di atas.

Tabel 4.35. Nilai Perhitungan dengan 15 Tumbukan

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Alat (gr)	Kadar Air (%)	Berat Sampel Basah (gr)	γ basah (gr/cm ³)	γ kering (gr/cm ³)
S25	1	11013	6756	25,71	4257	2,025	1,611
S50	2	12057	7929	23,81	4218	2,007	1,621
S75	3	11127	7140	20,91	3988	1,897	1,569
S100	4	11246	6949	18,23	3881	1,846	1,562

Tabel 4.36. Nilai Perhitungan dengan 15 Tumbukan

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Alat (gr)	Kadar Air (%)	Berat Sampel Basah (gr)	γ basah (gr/cm ³)	γ kering (gr/cm ³)
S25	1	11569	7157	21,81	4412	2,099	1,723
S50	2	11519	7217	20,59	4302	2,047	1,697
S75	3	11254	7053	19,32	4201	1,999	1,675
S100	4	11058	6896	18,86	4162	1,980	1,666

Tabel 4.37. Nilai Perhitungan dengan 15 Tumbukan

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Alat (gr)	Kadar Air (%)	Berat Sampel Basah (gr)	γ basah (gr/cm ³)	γ kering (gr/cm ³)
S25	1	11365	6746	20,31	4619	2,197	1,826
S50	2	11184	6698	18,91	4486	2,134	1,795
S75	3	12034	7644	17,5	4390	2,088	1,777
S100	4	11246	6960	15,64	4286	2,039	1,763

Data penetrasi dari setiap sampel jga diperoleh dari pengujian CBR di laboratorium, seperti yang ditunjukkan dalam **Tabel 4.38 – Tabel 4.40**.

Menghitung pengurangan beban :

$$\begin{aligned}\text{Koreksi beban} &= \text{Kalibrasi Alat} \times \text{Pembacaan Arloji CBR} \\ &= 52,19 \times 7 \\ &= 365,33 \text{ lbs}\end{aligned}$$

Tabel 4.38. Hasil Penetrasi dengan 15 Tumbukan

Kalibrasi : 52,19

t (menit)	Penurunan		15 Tumbukan			
	(inch)	(mm)	S25		S50	
			Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
0	0,000	0	0	0,00	0	0,00
1/4'	0,013	0,32	2	78,29	1	52,19
1/2'	0,025	0,64	2	104,38	2	78,29
1'	0,050	1,27	3	130,48	3	156,57
1 1/2'	0,075	1,91	3	156,57	5	234,86
2'	0,100	2,54	4	208,76	6	287,05
3'	0,150	3,81	6	287,05	6	313,14
4'	0,200	5,08	7	365,33	7	365,33
t (menit)	Penurunan		65 Tumbukan			
	(inch)	(mm)	S75		S100	
			Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
0	0,000	0	0	0,00	0	0,00
1/4'	0,013	0,32	2	104,38	4	118,00
1/2'	0,025	0,64	4	208,76	6	177,00
1'	0,050	1,27	6	313,14	11	324,50
1 1/2'	0,075	1,91	8	417,52	19	560,50
2'	0,100	2,54	11	574,09	26	767,00
3'	0,150	3,81	14	730,66	30	885,00
4'	0,200	5,08	17	887,23	34	1003,00

Tabel 4.39. Hasil Penetrasi dengan 35 Tumbukan

Kalibrasi : 52,19

t (menit)	Penurunan		35 Tumbukan			
	(inch)	(mm)	S25		S50	
			Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
0	0,000	0	0	0,00	0	0,00
1/4'	0,013	0,32	3	130,48	3	156,57
1/2'	0,025	0,64	3	156,57	6	287,05
1'	0,050	1,27	4	208,76	8	417,52
1 1/2'	0,075	1,91	5	260,95	11	574,09
2'	0,100	2,54	9	443,62	14	730,66
3'	0,150	3,81	10	521,90	18	939,42
4'	0,200	5,08	14	730,66	23	1200,37
t (menit)	Penurunan		35 Tumbukan			
	(inch)	(mm)	S75		S100	
			Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
0	0,000	0	0	0,00	0	0,00
1/4'	0,013	0,32	4	208,76	6	177,00
1/2'	0,025	0,64	7	365,33	10	295,00
1'	0,050	1,27	12	626,28	25	737,50
1 1/2'	0,075	1,91	16	835,04	37	1091,50
2'	0,100	2,54	21	1095,99	49	1445,50
3'	0,150	3,81	27	1409,13	67	1976,50
4'	0,200	5,08	35	1826,65	81	2389,50

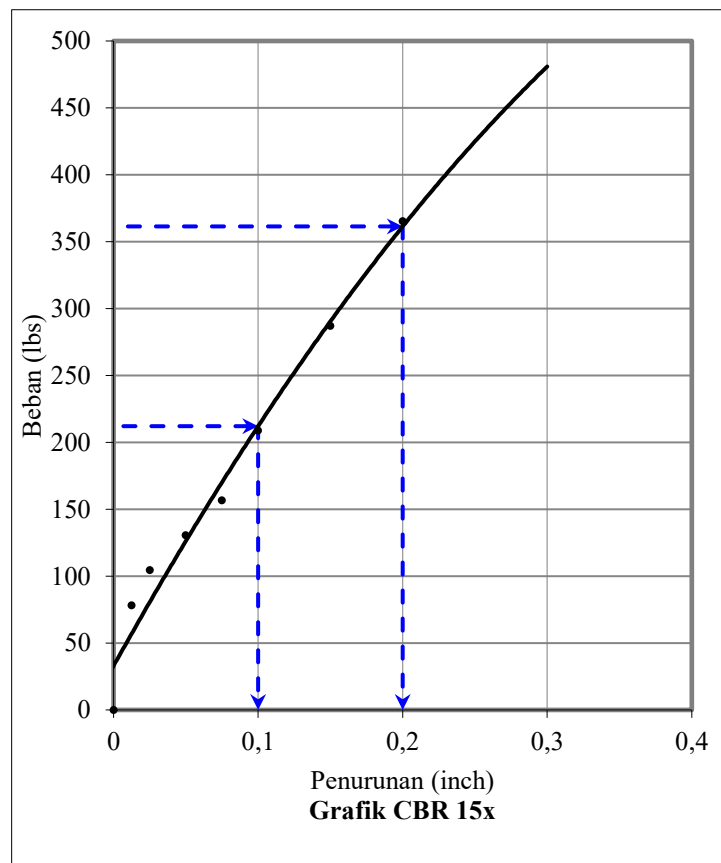
Tabel 4 40. Hasil Penetrasi dengan 35 Tumbukan

Kalibrasi : 52,19

t (menit)	Penurunan		65 Tumbukan			
	(inch)	(mm)	S25		S50	
			Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
0	0,000	0	0	0,00	0	0,00
1/4'	0,013	0,32	3	156,57	3	156,57
1/2'	0,025	0,64	4	182,67	6	313,14
1'	0,050	1,27	5	234,86	11	574,09
1 1/2'	0,075	1,91	7	365,33	15	782,85
2'	0,100	2,54	11	574,09	22	1148,18
3'	0,150	3,81	15	782,85	31	1617,89
4'	0,200	5,08	19	991,61	37	1931,03

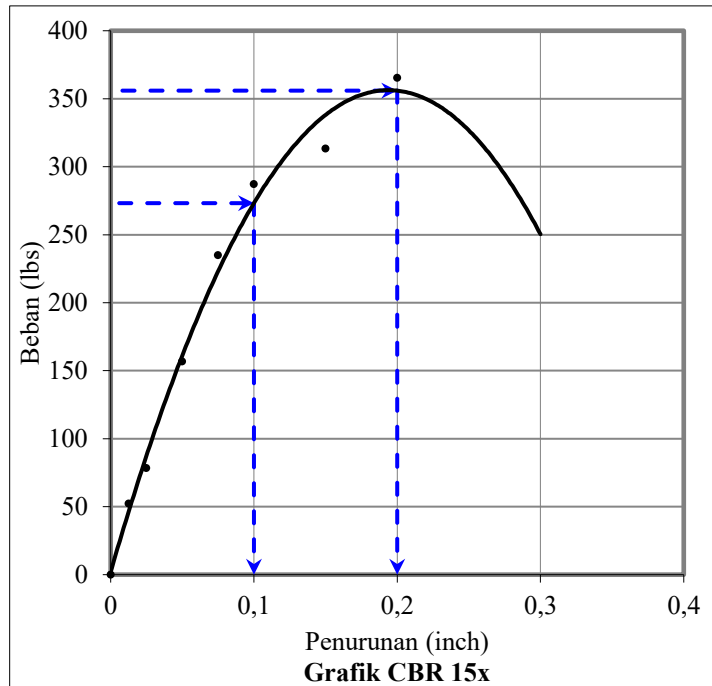
t (menit)	Penurunan		65 Tumbukan			
	(inch)	(mm)	S75		S100	
			Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
0	0,000	0	0	0,00	0	0,00
1/4'	0,013	0,32	4	208,76	5	147,50
1/2'	0,025	0,64	8	417,52	10	295,00
1'	0,050	1,27	18	939,42	25	737,50
1 1/2'	0,075	1,91	26	1356,94	42	1239,00
2'	0,100	2,54	34	1774,46	59	1740,50
3'	0,150	3,81	41	2139,79	91	2684,50
4'	0,200	5,08	56	2922,64	120	3540,00

Berdasarkan tabel pembacaan dial di atas, maka dapat dilihat pembacaan 0,1 inci dan 0,2 inci pada **Gambar 4.15 – Gambar 4.26** sebagai berikut :



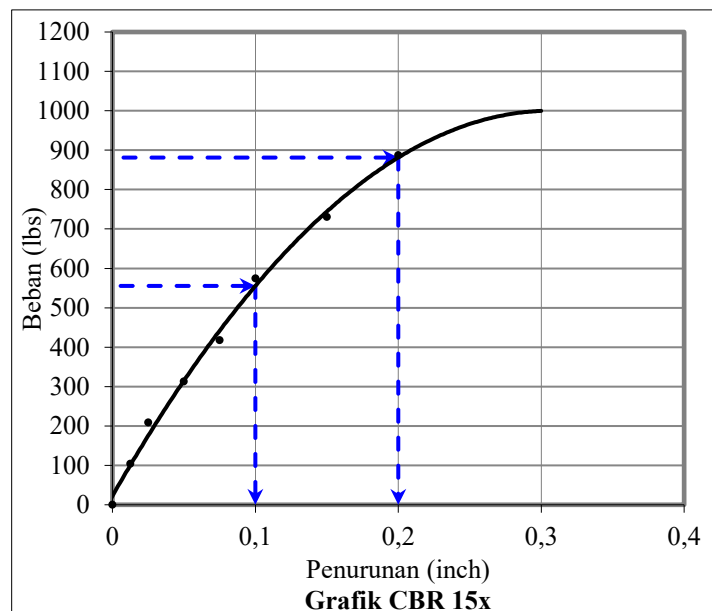
Gambar 4.15. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S25 dengan 15 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (212,08 lbs) dan 0,2 inci (361,29 lbs) pada Sampel S25 dengan 15 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.15**.



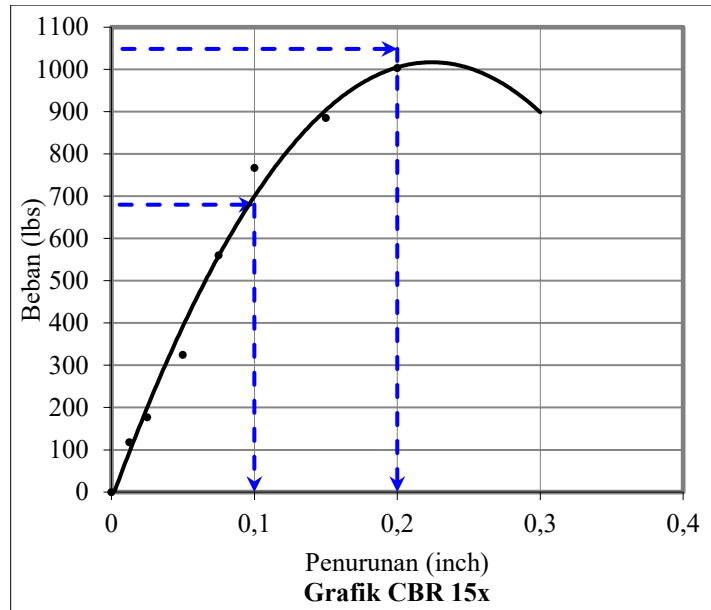
Gambar 4.16. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S50 dengan 15 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (273,22 lbs) dan 0,2 inci (355,97 lbs) pada Sampel S50 dengan 15 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.16**.



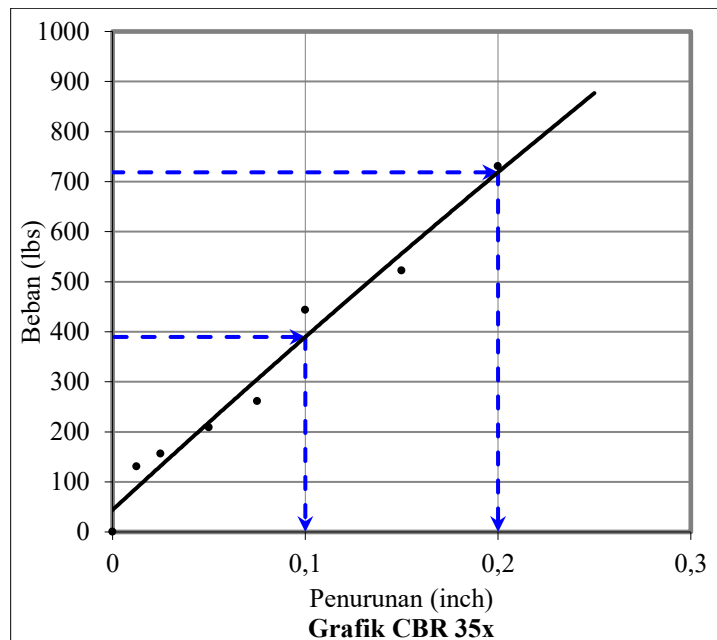
Gambar 4.17. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S75 dengan 15 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (555,50 lbs) dan 0,2 inci (881,25 lbs) pada Sampel S75 dengan 15 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.17**.



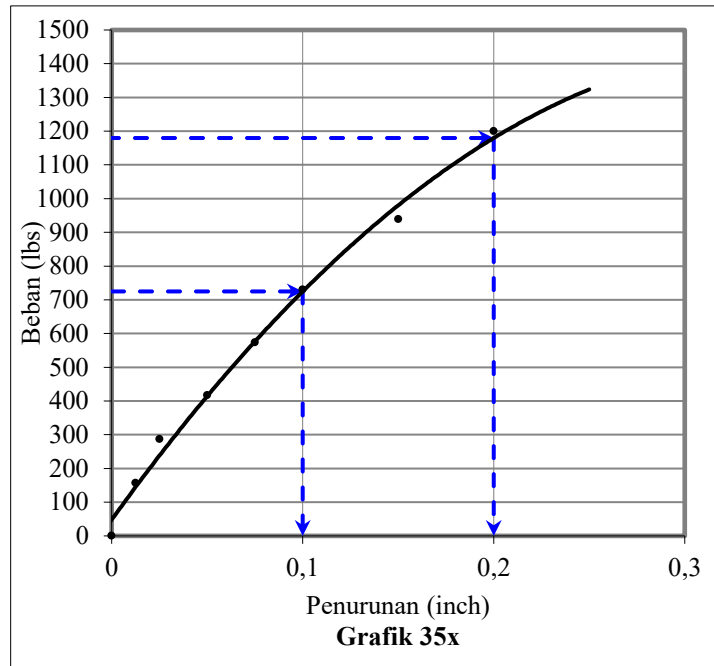
Gambar 4.18. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S100 dengan 15 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (680,07 lbs) dan 0,2 inci (1058,67 lbs) pada Sampel S100 dengan 15 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.18**.



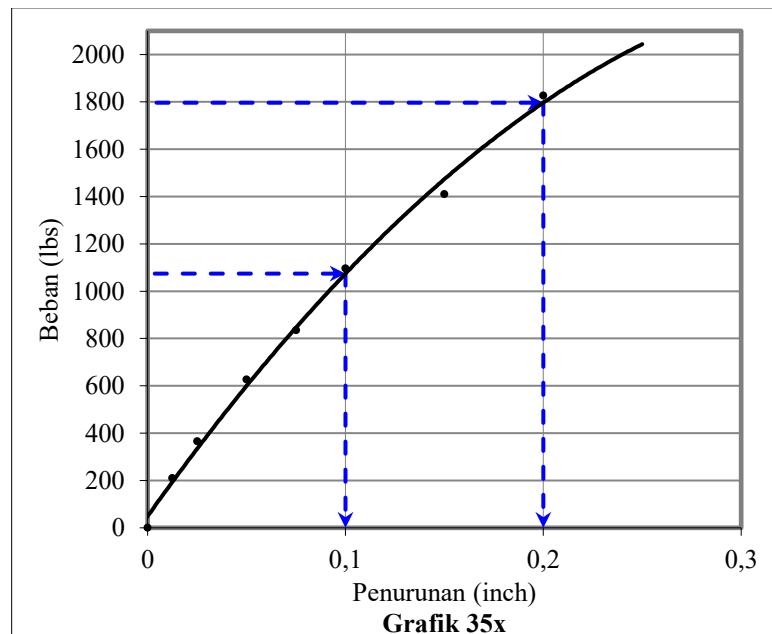
Gambar 4.19. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S25 dengan 35 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (389,65 lbs) dan 0,2 inci (718,60 lbs) pada Sampel S25 dengan 35 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.19**.



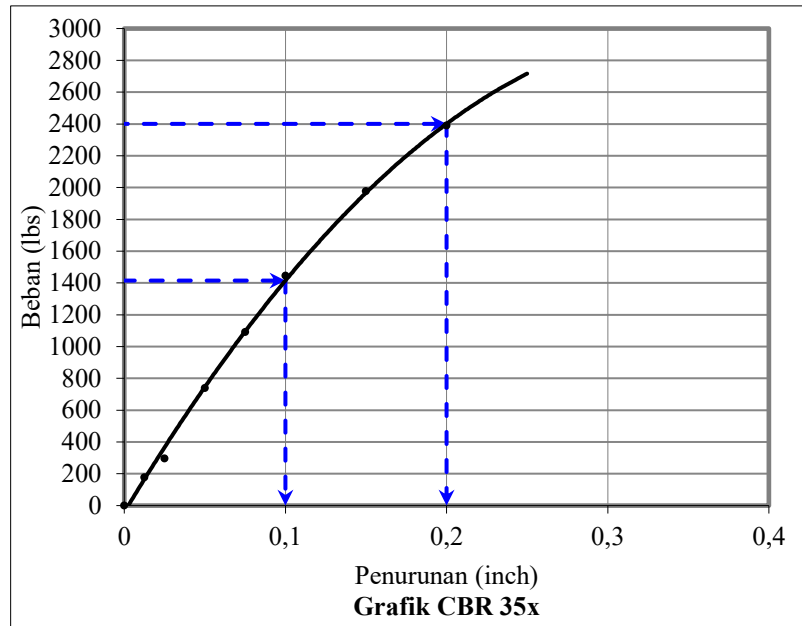
Gambar 4.20. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S50 dengan 35 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (724,83 lbs) dan 0,2 inci (1179,69 lbs) pada Sampel S50 dengan 35 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.20**.



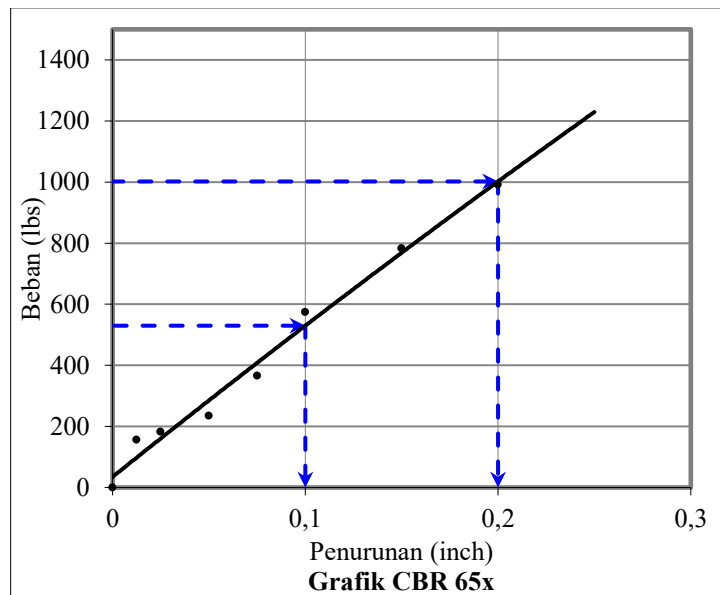
Gambar 4.21. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S75 dengan 35 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (1074,37 lbs) dan 0,2 inci (1796,54 lbs) pada Sampel S75 dengan 35 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.21**.



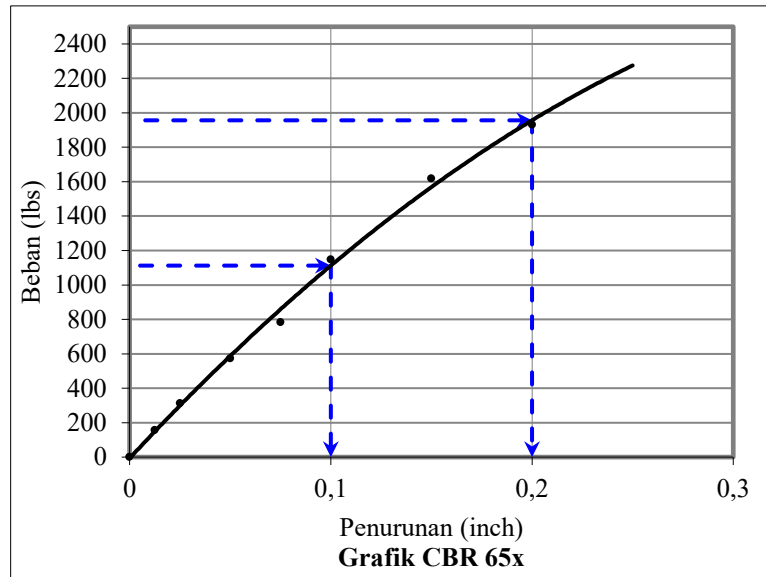
Gambar 4.22. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S100 dengan 35 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (1415,01 lbs) dan 0,2 inci (2400,53 lbs) pada Sampel S100 dengan 35 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.22**.



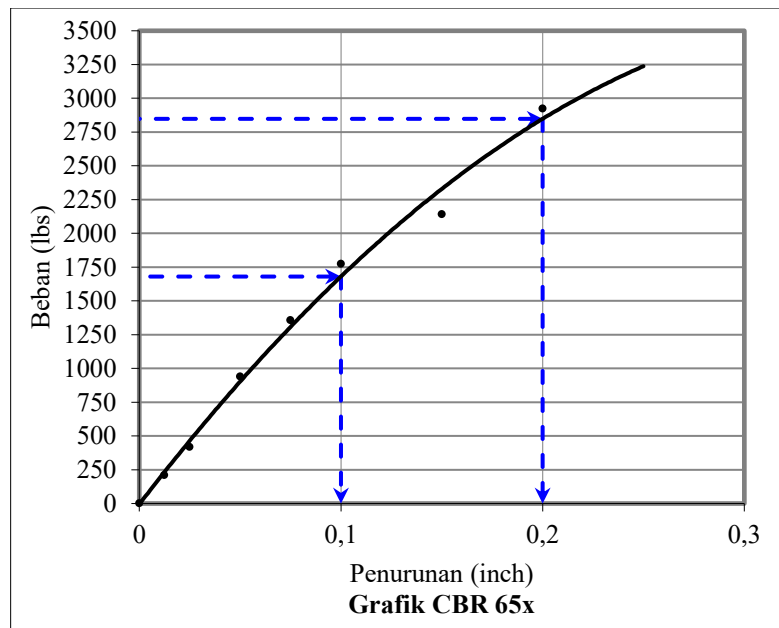
Gambar 4.23. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S25 dengan 65 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (529,86 lbs) dan 0,2 inci (1001,97 lbs) pada Sampel S25 dengan 65 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.23**.



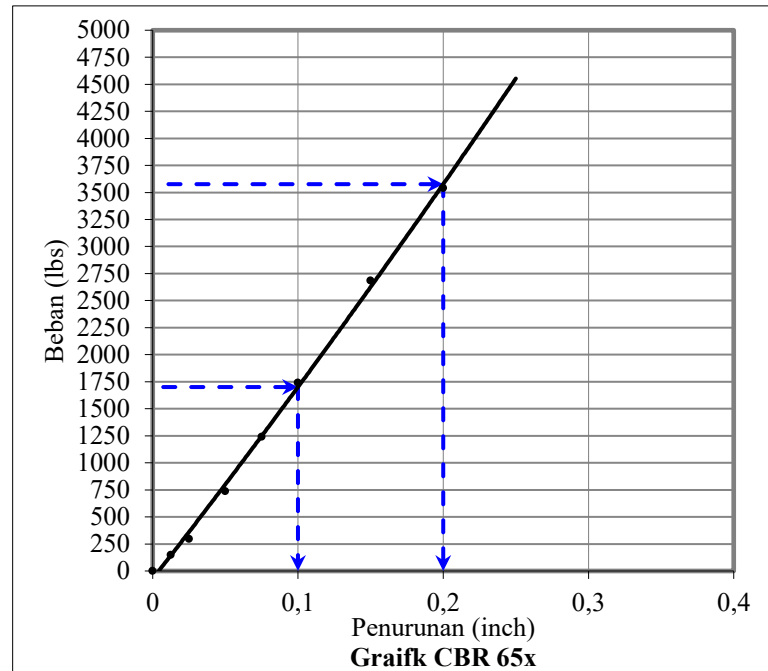
Gambar 4.24. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S50 dengan 65 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (1112,43 lbs) dan 0,2 inci (1956,38 lbs) pada Sampel S50 dengan 65 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.24**.



Gambar 4.25. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S75 dengan 65 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (1680,44 lbs) dan 0,2 inci (2848,12 lbs) pada Sampel S75 dengan 65 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.25**.



Gambar 4.26. Grafik hasil penetrasi pada Sampel S100 dengan 65 Tumbukan

Hasil pembacaan 0,1 inci (1700,64 lbs) dan 0,2 inci (3576,74 lbs) pada Sampel S100 dengan 65 tumbukan ditunjukkan pada **Gambar 4.26**.

Menurut data yang dikumpulkan berdasarkan penetrasi dari sampel S25 (25% *Stone Crusher Waste*), S50 (50% *Stone Crusher Waste*), S75 (75% *Stone Crusher Waste*), & S100 (100% *Stone Crusher Waste*) dengan 15, 35, dan 65 tumbukan, maka harga CBR setiap sampel dapat dihitung.

Perhitungan yang dibuat untuk sampel tanah awal dapat ditemukan di sini :

1. Menghitung Penetrasi 0,1" (0,254)

$$\begin{aligned}
 \text{CBR (\%)} &= \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\% \\
 &= \frac{124,58}{3 \times 1000} \times 100\% \\
 &= 4,15\%
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Penetrasi 0,2" (0,508)

$$\begin{aligned}
 \text{CBR (\%)} &= \frac{P_2}{3 \times 1500} \times 100\% \\
 &= \frac{189,14}{3 \times 1500} \times 100\% \\
 &= 4,20\%
 \end{aligned}$$

Nilai CBR pada pembacaan dial 0,1 inci dan dial 0,2 inci pada pengujian sebagai berikut:

Tabel 4.41. Rekap Nilai CBR pada 65 Tumbukan

Komposisi Campuran	Bebas atas koreksi		Nilai CBR	
	0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
25% SCW + 75% TA	529,86	1001,97	17,66%	22,27%
50% SCW + 50% TA	1112,43	1956,38	37,08%	43,48%
75% SCW + 25% TA	1680,44	2848,12	56,01%	63,29%
100% SCW + 0% TA	1700,64	3576,74	56,69%	79,48%

Tabel 4.42. Nilai CBR pada 35 Tumbukan

Komposisi Campuran	Bebas atas koreksi		Nilai CBR	
	0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
25% SCW + 75% TA	389,65	718,60	12,99%	15,97%
50% SCW + 50% TA	724,83	1179,69	24,16%	26,22%
75% SCW + 25% TA	1074,37	1796,54	35,81%	39,92%
100% SCW + 0% TA	1415,07	2400,53	47,17%	53,35%

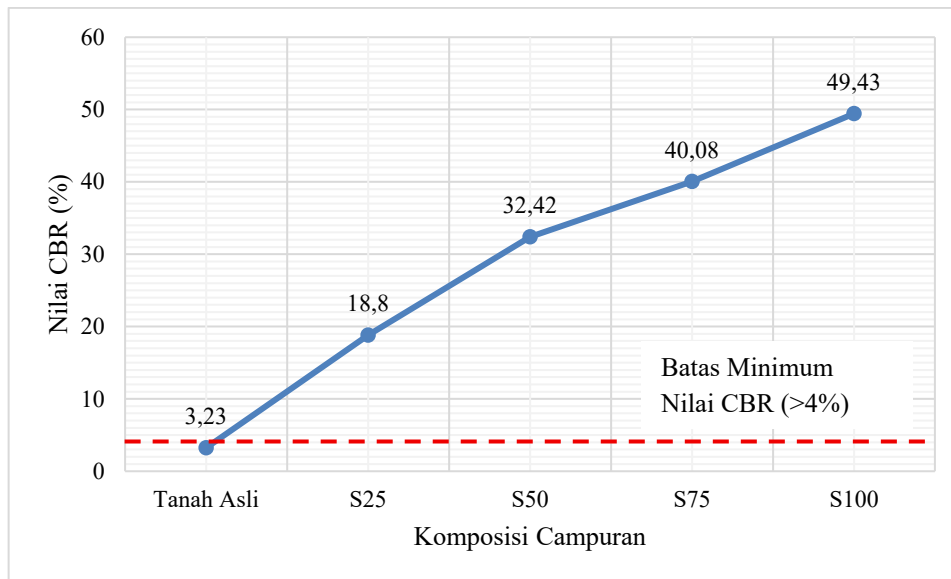
Tabel 4.43 Nilai CBR pada 15 Tumbukan

Komposisi Campuran	Bebas atas koreksi		Nilai CBR	
	0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
25% SCW + 75% TA	212,08	8,03	7,07%	0,18%
50% SCW + 50% TA	273,22	355,97	9,11%	7,91%
75% SCW + 25% TA	555,50	881,25	18,52%	19,58%
100% SCW + 0% TA	680,07	1048,67	22,67%	23,30%

Berdasarkan **Tabel 4.41 – Tabel 4.43** dan data nilai CBR laboratorium tanah asli yang sudah ada sebelumnya, maka didapat nilai CBR pada 100% kepadatan kering maksimum yang dapat dilihat pada **Tabel 4.65**.

Tabel 4.44. Nilai CBR pada 100% Kepadatan Kering Maksimum

Komposisi Campuran	Nilai CBR (%)
Tanah Asli	3,23
S25	18,80
S50	32,42
S75	40,08
S100	49,43



Gambar 4.27. Grafik Nilai CBR

Berdasarkan **Gambar 4.27**, Nilai CBR menunjukkan peningkatan signifikan seiring peningkatan persentase *Stone Crusher Waste*. Seluruh nilai CBR pada komposisi campuran *Stone Crusher Waste* dan tanah asli melebihi ambang batas minimum 4% yang disyaratkan spesifikasi teknis proyek untuk *subgrade*. Hal ini menunjukkan bahwa *Stone Crusher Waste* mampu meningkatkan kapasitas dukung tanah secara signifikan.

4.4.8. Penentuan Komposisi Campuran Optimum

Penentuan komposisi campuran optimum dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan evaluasi menyeluruh terhadap parameter hasil uji laboratorium, yaitu gradasi butiran, kadar air, kadar lumpur, berat jenis, batas Atterberg, kadar air optimum, kepadatan kering maksimum, dan nilai CBR. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi komposisi campuran yang mampu memberikan daya dukung *subgrade* tertinggi dengan tetap mempertahankan kestabilan plastisitas, kemampuan pemadatan, dan kesesuaian terhadap spesifikasi teknis proyek.

Berikut rekap hasil dari semua pengujian yang sudah dilakukan :

Tabel 4.45. Rekap Hasil Pengujian Laboratorium dengan Komposisi 25% *Stone Crusher Waste* + 75% Tanah Asli

Komposisi 25% <i>Stone Crusher Waste</i> + 75% Tanah Asli (S25)				
Parameter Uji	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Metode Uji	Keterangan
Gradasi Butiran	Persen berat yang lolos : 4" = 100% No. 4 = 25%-90% No. 200 = 0%-10%	Persen berat yang lolos : 4" = 100% No. 4 = 77,81% No. 200 = 59,84%	SNI ASTM C136:2012	Tidak Memenuhi
Berat Jenis	-	1,83 gram/cc	SNI 1970-2016 & SNI 1969-2016	-
Kadar Air	-	15,28%	SNI 03-1965-1990	-
Kadar Lumpur	-	61,37%	SNI 03-4142-1996	-
Plastis Indeks	< 10%	7,89%	SNI 1967-2008	Memenuhi
Kepadatan Kering Maksimum	-	1,77%	SNI 1743:2008	-
Kadar Air Optimum	-	19,30%	SNI 1743:2008	-
CBR	> 4%	18,80%	SNI 1744-2012	Memenuhi

Tabel 4.46. Rekap Hasil Pengujian Laboratorium dengan Komposisi 50% *Stone Crusher Waste* + 50% Tanah Asli

Komposisi 50% <i>Stone Crusher Waste</i> + 50% Tanah Asli (S50)				
Parameter Uji	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Metode Uji	Keterangan
Gradasi Butiran	Persen berat yang lolos : 4" = 100% No. 4 = 25%-90% No. 200 = 0%-10%	Persen berat yang lolos : 4" = 100% No. 4 = 58,48% No. 200 = 26,15%	SNI ASTM C136:2012	Tidak Memenuhi
Berat Jenis	-	2,07 gram/cc	SNI 1970-2016 & SNI 1969-2016	-

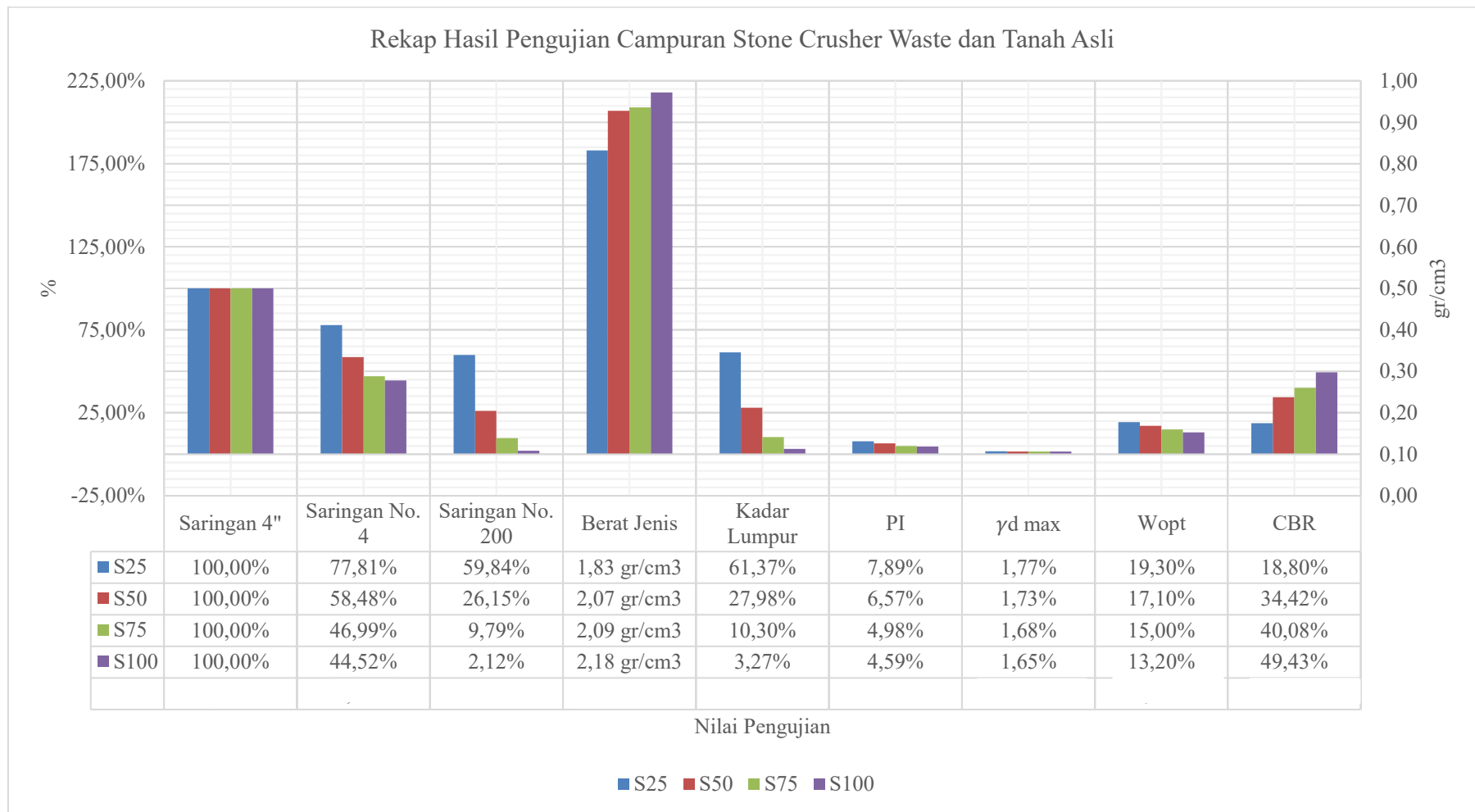
Komposisi 50% Stone Crusher Waste + 50% Tanah Asli (S50)				
Kadar Air	-	15,72%	SNI 03-1965-1990	-
Kadar Lumpur	-	27,98%	SNI 03-4142-1996	-
Plastis Indeks	< 10%	6,57%	SNI 1967-2008	Memenuhi
Kepadatan Kering Maksimum	-	1,73%	SNI 1743:2008	-
Kadar Air Optimum	-	17,10%	SNI 1743:2008	-
CBR	> 4%	34,42%	SNI 1744-2012	Memenuhi

Tabel 4.47. Rekap Hasil Pengujian Laboratorium dengan Komposisi 75% *Stone Crusher Waste* + 25% Tanah Asli

Komposisi 75% Stone Crusher Waste + 25% Tanah Asli (S75)				
Parameter Uji	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Metode Uji	Keterangan
Gradasi Butiran	Persen berat yang lolos : 4" = 100% No. 4 = 25%-90% No. 200 = 0%-10%	Persen berat yang lolos : 4" = 100% No. 4 = 46,99% No. 200 = 9,79%	SNI ASTM C136:2012	Memenuhi
Berat Jenis	-	2,09	SNI 1970-2016 & SNI 1969-2016	-
Kadar Air	-	16,07%	SNI 03-1965-1990	-
Kadar Lumpur	-	10,30%	SNI 03-4142-1996	-
Plastis Indeks	< 10%	4,98%	SNI 1967-2008	Memenuhi
Kepadatan Kering Maksimum	-	1,68%	SNI 1743:2008	-
Kadar Air Optimum	-	15,00%	SNI 1743:2008	-
CBR	> 4%	40,08%	SNI 1744-2012	Memenuhi

Tabel 4.48. Rekap Hasil Pengujian Laboratorium dengan Komposisi 100% *Stone Crusher Waste* + 0% Tanah Asli

Komposisi 100% Stone Crusher Waste + 0% Tanah Asli (S100)				
Parameter Uji	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Metode Uji	Keterangan
Gradasi Butiran	Persen berat yang lolos : 4" = 100% No. 4 = 25%-90% No. 200 = 0%-10%	Persen berat yang lolos : 4" = 100% No. 4 = 44,52% No. 200 = 2,12%	SNI ASTM C136:2012	Memenuhi
Berat Jenis	-	2,18 gram/cc	SNI 1970-2016 & SNI 1969-2016	-
Kadar Air	-	16,78%	SNI 03-1965-1990	-
Kadar Lumpur	-	3,27%	SNI 03-4142-1996	-
Plastis Indeks	< 10%	4,59%	SNI 1967-2008	Memenuhi
Kepadatan Kering Maksimum	-	1,65%	SNI 1743:2008	-
Kadar Air Optimum	-	13,20%	SNI 1743:2008	-
CBR	> 4%	49,43%	SNI 1744-2012	Memenuhi



Gambar 4.28. Rekap Hasil Pengujian Campuran *Stone Crusher Waste* dan Tanah Asli

Dari sisi gradasi, hanya campuran 75% *Stone Crusher Waste* + 25% Tanah Asli dan 100% *Stone Crusher Waste* yang memenuhi rentang batas atas dan bawah berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hal ini menunjukkan bahwa kedua komposisi tersebut memiliki distribusi butiran yang baik untuk mendukung pemadatan dan stabilitas struktur.

Untuk parameter berat jenis, nilai tertinggi diperoleh pada 100% *Stone Crusher Waste*, yaitu 2,18 g/cm³. Berat jenis yang lebih tinggi umumnya berhubungan dengan potensi peningkatan daya dukung tanah. Namun, dari sisi plastisitas, campuran 75% *Stone Crusher Waste* + 25% Tanah Asli memiliki indeks plastisitas sebesar 4,77%, yang tergolong sangat rendah dan stabil terhadap perubahan kadar air.

Pada hasil uji Proctor, nilai kepadatan kering maksimum menurun dengan meningkatnya kadar *Stone Crusher Waste*. Campuran 75% *Stone Crusher Waste* + 25% Tanah Asli memiliki nilai γ_d sebesar 1,68 g/cm³ dengan kadar air optimum 15%, yang lebih tinggi dari 100% *Stone Crusher Waste* (γ_d = 1,65 g/cm³; W_{opt} = 13,2%). Artinya, walaupun 100% *Stone Crusher Waste* memberikan nilai CBR tertinggi (49,43%), kepadatan dan kontrol kelembapan dalam campuran 75% *Stone Crusher Waste* lebih mendukung untuk pelaksanaan konstruksi yang stabil dan konsisten.

Nilai CBR campuran 75% *Stone Crusher Waste* + 25% Tanah Asli adalah 40,08%, jauh di atas ambang batas minimum 4% dan mendekati nilai maksimum. Ini menunjukkan bahwa komposisi tersebut sudah sangat mencukupi untuk digunakan sebagai timbunan subgrade pada jalan hauling tanpa harus menggunakan 100% *Stone Crusher Waste* yang lebih ekstrem.

Dengan mempertimbangkan seluruh parameter teknis tersebut, terutama stabilitas plastisitas, kepadatan yang layak, dan daya dukung tinggi, maka komposisi 75% *Stone Crusher Waste* + 25% Tanah Asli dipilih sebagai komposisi campuran optimum dalam penelitian ini.

Dengan mempertimbangkan aspek teknis dan efisiensi pelaksanaan, maka komposisi **75% *Stone Crusher Waste* + 25% Tanah Asli** direkomendasikan sebagai campuran optimal untuk perbaikan subgrade.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data timbunan perbaikan subgrade dengan substitusi *Stone Crusher Waste* yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. *Stone Crusher Waste* memiliki karakteristik fisik dan mekanik yang mendukung sebagai bahan timbunan *subgrade*. Berdasarkan hasil analisis saringan, *Stone Crusher Waste* memiliki gradasi yang sesuai dengan spesifikasi timbunan di Spesifikasi Umum 2018. Kadar air *Stone Crusher Waste* sebesar 16,78% menunjukkan bahwa *Stone Crusher Waste* memiliki kemampuan menyerap air dalam jumlah sedang. Kadar lumpur *Stone Crusher Waste* sebesar 3,27% menunjukkan tingkat kebersihan yang baik. Berat jenisnya mencapai 2,18 g/cm³, menunjukkan partikel padat yang mendukung kekuatan struktur. Nilai batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas masing-masing sebesar 29,69%, 25,10%, dan 4,59% mengindikasikan plastisitas rendah. Sementara itu, nilai *CBR* sebesar 49,43% memperlihatkan kapasitas dukung yang sangat baik.
2. Material *Stone Crusher Waste* memenuhi persyaratan teknis untuk digunakan sebagai material timbunan perbaikan subgrade. Seluruh variasi komposisi campuran *Stone Crusher Waste* dengan tanah asli (25%, 50%, 75%, dan 100% *Stone Crusher Waste*) menghasilkan nilai *CBR* yang jauh di atas ambang batas minimum 4% yang ditetapkan oleh spesifikasi teknis proyek *Indonesia Growth Project (IGP) Bahodopi Block 2 & 3*. Peningkatan nilai *CBR* dari tanah asli sebesar 3,23% menjadi 18,80% (S25); 32,42% (S50); 40,08% (S75); dan 49,43% (S100) secara signifikan menunjukkan peningkatan daya dukung tanah.
3. Komposisi campuran optimum ditentukan berdasarkan evaluasi parameter gradasi, berat jenis, batas Atterberg, pemadatan, dan *CBR*. Campuran 75% *Stone Crusher Waste* + 25% Tanah Asli merupakan komposisi terbaik karena memberikan keseimbangan antara daya dukung tinggi (*CBR* 40,08%), plastisitas rendah, dan kemudahan dalam pengendalian kadar air.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat disampaikan:

1. Perlu dilakukan pengujian lanjutan terhadap sifat durabilitas dan kinerja jangka panjang *Stone Crusher Waste* dalam kondisi lapangan, terutama terhadap perubahan iklim dan lalu lintas kendaraan berat pada jalan hauling.
2. Penelitian serupa dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan parameter tambahan seperti permeabilitas dan uji pembebanan berulang untuk menilai ketahanan material terhadap deformasi dan erosi.
3. Disarankan agar penerapan *Stone Crusher Waste* dalam skala proyek mempertimbangkan sistem kontrol kualitas yang ketat, terutama dalam hal homogenitas pencampuran dan pengendalian kadar air selama proses pemadatan.
4. Perlu adanya integrasi antara hasil penelitian ini dengan pedoman teknis, agar pemanfaatan *Stone Crusher Waste* sebagai material timbunan dapat dilakukan secara sistematis dan sesuai standar.
5. Untuk proyek serupa di masa mendatang, pemanfaatan limbah lokal seperti *Stone Crusher Waste* hendaknya menjadi pertimbangan utama sebagai solusi teknik yang berkelanjutan, efisien, dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agate, A., dkk. (2024). *Performance of expansive soil stabilized with bamboo charcoal, quarry dust, and lime*. [Jurnal Teknik Sipil Internasional].
- Anwar, H., dkk. (2020). Fungsi Jalan Tambang dalam Pengembangan Infrastruktur Pertambangan. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 12(3), 215–223.
- Budi. (2011). *Pengujian CBR di Laboratorium*. Jakarta: Penerbit Teknik Sipil Nusantara.
- Daniel, D. E. (1994). *Geotechnical practice for waste disposal*. Chapman & Hall.
- Das, B. M. (2010). *Principles of geotechnical engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Darwis, H. D. (2017). *Rekayasa Perbaikan Tanah*. Surabaya: CV Mitra Cendekia Press.
- Eades, J. L., & Grim, R. E. (1966). *A quick test to determine lime requirements for lime stabilization*. *Highway Research Record*, 139, 61–72.
- Fitria, H. (2019). Manfaat limbah abu batu sebagai tambahan material bahan bangunan. *Jurnal Riset Teknik Sipil*, 4(1), 45–51.
- Giroud, J. P., & Noiray, L. (1981). Geotextile-reinforced unpaved road design. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 107(GT9), 1233–1254.
- Hardiyatmo, H. C. (1992). *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hidayat, R., dkk. (2021). Pengaruh Gradasi Agregat terhadap Stabilitas Campuran Aspal. *Jurnal Teknologi Sipil*, 10(2), 91–99.
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). *An introduction to geotechnical engineering*. Prentice-Hall.
- Koerner, R. M. (2005). *Designing with geosynthetics* (5th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Kumar, A., & Singh, M. (2018). Use of fly ash in soil stabilization: Review. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 7(3), 67–73.

- Lesama, M., dkk. (2013). Evaluasi Nilai CBR Tanah Dasar Jalan dengan Pengujian Laboratorium. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 101–109.
- Mardhatillah, J. (2022). *Pemanfaatan limbah abu batu sebagai material timbunan subgrade ditinjau dari nilai CBR (California Bearing Ratio)* (Tesis Magister, Universitas Islam Sultan Agung). <http://repository.unissula.ac.id/26313/>
- Mulyono, T. (2017). *Teknologi Bahan Konstruksi*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Musper, D. S. (2015). Analisa karakteristik agregat halus (limbah *stone crusher*) sebagai bahan campuran beton. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Pattimura*, 3(2), 45–54.
- Purwanti, D. I., dkk. (2023). Efisiensi Jalan Hauling dalam Mendukung Produktivitas Tambang. *Jurnal Teknik Transportasi Tambang*, 5(1), 30–38.
- SNI 03-1744-2002. (2002). *Spesifikasi umum untuk bahan timbunan perkerasan jalan*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1965-1990. (1990). *Metode Pengujian Kadar Air Tanah*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1966-1990. (1990). *Metode Pengujian Batas Plastis Tanah*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1967-1990. (1990). *Metode Pengujian Batas Cair Tanah*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2461-1991. (1991). *Spesifikasi pasir untuk konstruksi*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2489-2002. (2002). *Metode stabilisasi tanah dengan aspal (bitumen)*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4142-1996. (1996). *Metode Pengujian Kadar Lumpur dalam Agregat*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-6802-2002. (2002). *Metode pengambilan contoh uji tanah*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1743:2008. (2008). *Metode uji pemadatan tanah*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1744:2012. (2012). *Metode pengujian CBR laboratorium*. Badan Standardisasi Nasional.

- SNI 1969-2016. (2016). *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1970-2016. (2016). *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI ASTM C136. (2012). *Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan kasar*. Badan Standardisasi Nasional.
- Soumokil, M. D. (2025). Karakteristik Limbah *Stone Crusher* untuk Timbunan Subgrade Jalan Tambang. *Jurnal Geoteknik*, 11(1), 55–62.
- Sulha, F. A. M., Rustamin, W., & Mustika. (2025). Inovasi material limbah *crusher* untuk meningkatkan daya dukung lapis pondasi bawah konstruksi jalan. *Jurnal Media Konstruksi*, 7(2), 110–119.
- Sulistyo, J. A., Majid, K., Azrul, M., & Permata, B. (2024). Komposit aspal beton (AC-WC) dengan penambahan fly ash dan rubber waste untuk perkerasan jalan. *Jurnal Teknik SILITEK*, 4(2), 125–137.
- Sukirman, S. (1999). *Teknologi Perkerasan Jalan Lentur*. Bandung: Nova.
- Wang, Y., Liu, Q., Zhang, F., & Chen, J. (2021). *Study on performance tests and the application of construction waste as subgrade backfill*. *Construction and Building Materials*, 276, 122254.

LAMPIRAN 1

1. Spesifikasi Teknis Proyek *Indonesia Growth Project* Bahodopi Block 2 & 3 terkait CBR >4%

6.2 Subgrade (Geotechnical Assessment)

The 'Geotechnical Investigation for Bahodopi Block 3' report by Geosynergy Solution, dated 2020 indicates a mantle of weathered red to red/brown clayey silt soils over weathered peridotite rock. The soils are typically firm to stiff and are sensitive to disturbance, with potential strength diminishment. Penetrometer results indicated that subgrade strengths were highly variable and CBR ranges from 1.5% (in recompacted limonite and low lying wet soils) and 5% in cut undisturbed soils.

A CBR value of 4% for the subgrade strength is recommended. Following cut/fill operations and preparation of the subgrade, the subgrade should be tested with a DCP and where the CBR is less than the design, the subgrade should be undercut by 800mm and backfilled with compacted selected fill material. Higher CBR values are anticipated with granular backfill material.

(Sumber: CP-0100BM-BM-B-50163)

To : PT. VALE INDONESIA / PCM
From : PT. PP (Persero) Tbk – EPC Division
Subject : Invitation for Inspection

Dear Sir,

Hereby notifies that the following particular work is available for inspection / measurement As below :

Project : IGP - Mines of Bahodopi Block 2 & 3
Contractor : PT. PP (Persero) Tbk – EPC Division

WBS Number : 1170 / Mine Haul Road
Unit / Area : MINE - Mine Development

QWP Number : QWP - 1170 - CIV - 0006
Discipline : CIVIL

IR No : IR - BM - PP - CV - 00682 ~~82~~ TBK / L
Request Date : Sunday, March 23, 2025

Tag Number :

☐ Temporary Facility ☒ Permanent Facility ☐ Temporary Facility become Permanent facility

Inspection detail : DCP Test

1. Inspection Date / Time : Sunday, 23 March 2025 / 9:00 AM

2. Construction Activity : Fill Compaction

3. Inspection Item : DCP

4. Description : Soil Compaction with DCP Test TopSubGrade at STA 1+150 to 1+400
MHR 112

5. DWG No. or Reference : DG-1170BM-B-54003

6. Attachment (Inspection Item List) ☒ YES ☐ No

☒ Accepted ☐ Repair / Rectify ☐ Rejected

Remark : STA 1+350 - 1+400 L : 2.76 % Repair -
1+350 - 1+400 R : 1.76 %

LAMPIRAN 2

1. Takaran komposisi campuran *Stone Crusher Waste* dan Tanah Asli



Gambar 1. Takaan Komposisi Sampel *Stone Crusher Waste* + Tanah Asli

Sumber : Dokumentasi Pribadi 2025

2. Pencampuran komposisi campuran *Stone Crusher Waste* dan Tanah Asli



Gambar 2. Pencampuran *Stone Crusher Waste* + Tanah Asli

Sumber : Dokumentasi Pribadi 2025

3. Proses Quartering komposisi campuran *Stone Crusher Waste* dan Tanah Asli



Gambar 3. *Quartering Stone Crusher Waste + Tanah Asli*

Sumber : Dokumentasi Pribadi 2025

4. Proses pengujian Analisis Saringan



Gambar 4. Pengujian Analisis Saringan

Sumber : Dokumentasi Pribadi 2025

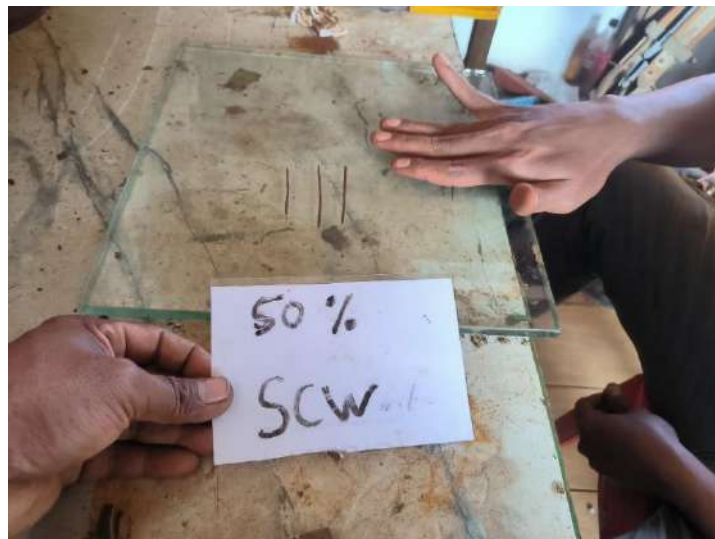
5. Proses pengujian Batas Cair



Gambar 5. Proses Pengujian Batas Cair

Sumber : Dokumentasi Pribadi 2025

6. Proses pengujian Batas Plastis



Gambar 6. Proses Pengujian Batas Plastis

Sumber : Dokumentasi Pribadi 2025

7. Proses pengujian *Proctor Standrad*



Gambar 7. Proses Pengujian *Proctor Standard*

Sumber : Dokumentasi Pribadi 2025

8. Proses pengujian *CBR* laboratorium



Gambar 8. Proses Pengujian *CBR*

Sumber : Dokumentasi Pribadi 2025

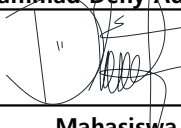
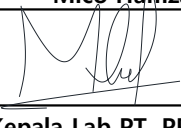
LAMPIRAN 3

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Location	Lab PPRE	GRADATION TEST Aashto T 27-82 ASTM C 33	Date of Sampling :	13 Jul 2025
Ex. sample	Stone Crusher		Date of Test :	14 Jul 2025
Type of Mix	S25		Tested By :	Deny Adi

Material25% SCW + 75% TA				Material25% SCW + 75% TA				AVERAGE	SPECIFICATION
Weight of sample :4950,8Gram				Weight of sample :5103,4Gram					
Sieve	Cumulative Weight			Sieve	Cumulative Weight				
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass		
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)		
4"	0	0,00	100,00	4"	0,0	0,00	100,00	100,00	
No. 4	1107	22,35	77,65	No. 4	1124,8	22,04	77,96	77,81	
No. 200	2055	41,50	58,50	No. 200	1981,7	38,83	61,17	59,84	
Pan	4951	100,00	0,00	Pan	5103,4	100,00	0,00	0,00	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Material				Material				AVERAGE	SPECIFICATION
-				-					
Weight of sample : - Gram				Weight of sample : - Gram					
Sieve	Cumulative Weight			Sieve	Cumulative Weight				
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass		
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)		
4"	-	-	-	4"	-	-	-	-	
No. 4	-	-	-	No. 4	-	-	-	-	
No. 200	-	-	-	No. 200	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

	Dikerjakan dan dihitung	Diperiksa
	oleh	oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Potition	Mahasiswa	Kepala Lab PT. PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : **S25**
 Ex. Material : **Stone Crusher**
 Location : **Lab PPRE**

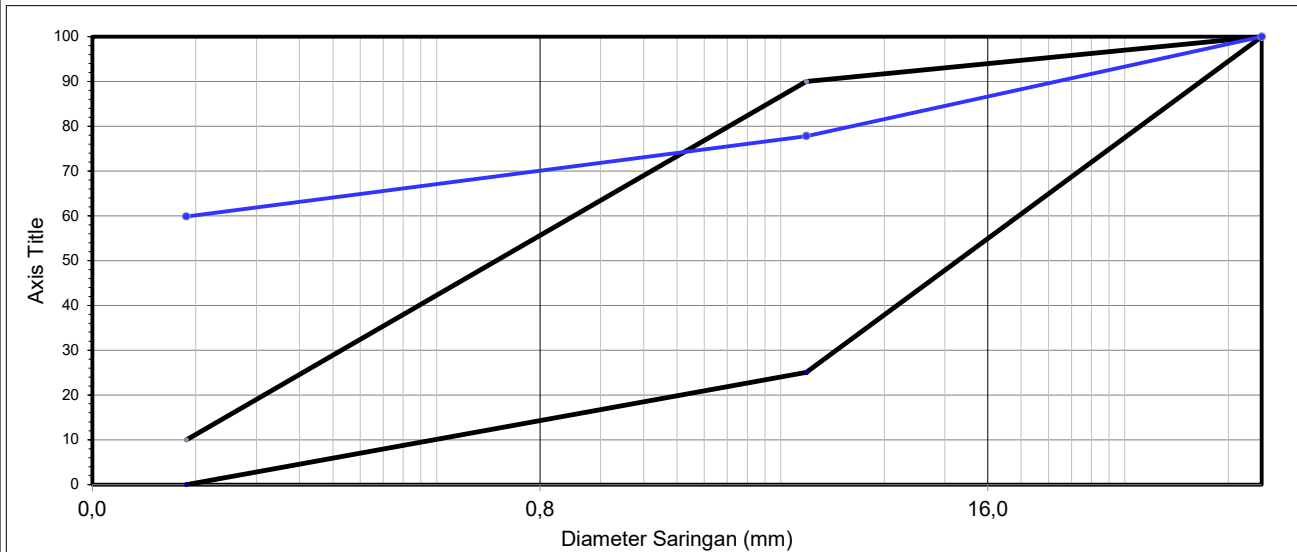
GRADATION TEST

Aashto T 27-82 ASTM C 33

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **14 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

Ex. Stone Crusher

MATERIAL		Retained Cumulative				Passed Cumulative				Average Paseded Cumulative	Specification.
Sieve Size		Sampel 1	Sampel 2	-	-	Sampel 1	Sampel 2	-	-		
Inch	mm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
4"	100	0	0	-	-	100	100	-	-	100	
NO 4	4,8	22,35	22,04	-	-	77,65	77,96	-	-	77,81	25 — 90
NO 200	0,075	41,50	38,83	-	-	58,50	61,17	-	-	59,84	0 — 10



Remark :

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : Stone Crusher Work Item : S25 Location : Lab PPRE	SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR COARSE AGGREGATE Aashto T - 84	Date of Sampling : 13 Jul 2025 Date of Test : 15 Jul 2025 Tested By : Deny Adi
--	--	---

Material Granular I		
Coarse aggregate material passing 3/4" sieve and retained on No.4 sieve		
WT of sample (saturated s.d.) in air	A =	3507,1 Grm
WT of sample in water	B =	1957,6 Grm
WT of sample oven-dry in air	C =	3279,4 Grm
$\text{Bulk sp.gr} = \frac{C}{A - B} = 2,116 \text{ gr/cc}$	$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{A - B} = 2,263 \text{ gr/cc}$	
$\text{Apparent sp.gr} = \frac{C}{C - B} = 2,481 \text{ gr/cc}$	$\text{Absorption} = \frac{A - C}{C} \times 100 = 6,943 \%$	

Material Granular II		
Coarse aggregate material passing 3/4" sieve and retained on #.4 sieve		
WT of sample (saturated s.d.) in air	A =	3421 Grm
WT of sample in water	B =	1857 Grm
WT of sample oven-dry in air	C =	3272,4 Grm
$\text{Bulk sp.gr} = \frac{C}{A - B} = 2,092 \text{ gr/cc}$	$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{A - B} = 2,187 \text{ gr/cc}$	
$\text{Apparent sp.gr} = \frac{C}{C - B} = 2,312 \text{ gr/cc}$	$\text{Absorption} = \frac{A - C}{C} \times 100 = 4,541 \%$	

AVERAGE Bulk sp.gr = 2,104 gr/cc Apparent sp.gr = 2,397 gr/cc	Bulk sp.gr (s.s.d) = 2,225 gr/cc Absorption = 5,742 %
---	--

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
 Work Item : **S25**
 Location : **Lab PPRE**

SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR FINE AGGREGATE

Aashto T - 84

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **15 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

Material Granular I

Fine aggregate material passing #.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air

A = 500 Grm

WT of picnometer filled with water

B = 1412,9 Grm

WT of picnometer + water + sample

C = 1613,1 Grm

WT of oven dry sample

D = 456,7 Grm

$$\text{Bulk sp.gr} = \frac{D}{B+A-C} = 1,523 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{B+A-C} = 1,668 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Apparent sp.gr} = \frac{D}{B+D-C} = 1,781 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Absorption} = \frac{A-D}{D} \times 100 = 9,481 \%$$

Material Granular II

Fine aggregate material passing #.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air

A = 500 Grm

WT of picnometer filled with water

B = 1378,6 Grm

WT of picnometer + water + sample

C = 1597,3 Grm

WT of oven dry sample

D = 436,1 Grm

$$\text{Bulk sp.gr} = \frac{D}{B+A-C} = 1,550 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{B+A-C} = 1,777 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Apparent sp.gr} = \frac{D}{B+D-C} = 2,006 \text{ gr/cc}$$

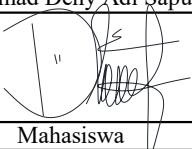
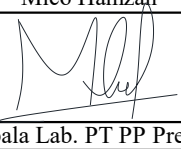
$$\text{Absorption} = \frac{A-D}{D} \times 100 = 14,653 \%$$

AVERAGE Bulk sp.gr = **1,537** gr/cc

Bulk sp.gr (s.s.d) = **1,723** gr/cc

Apparent sp.gr = **1,781** gr/cc

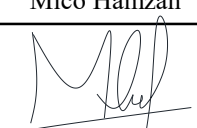
Absorption = **12,067** %

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : Stone Crusher	SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR COMBINE AGGREGATE Aashto T - 84	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Work Item : S25		Date of Test : 15 Jul 2025
Location : Lab PPRE		Tested By : Deny Adi

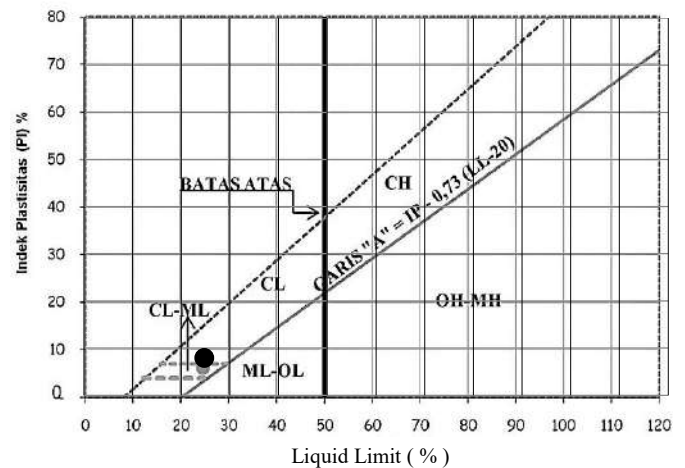
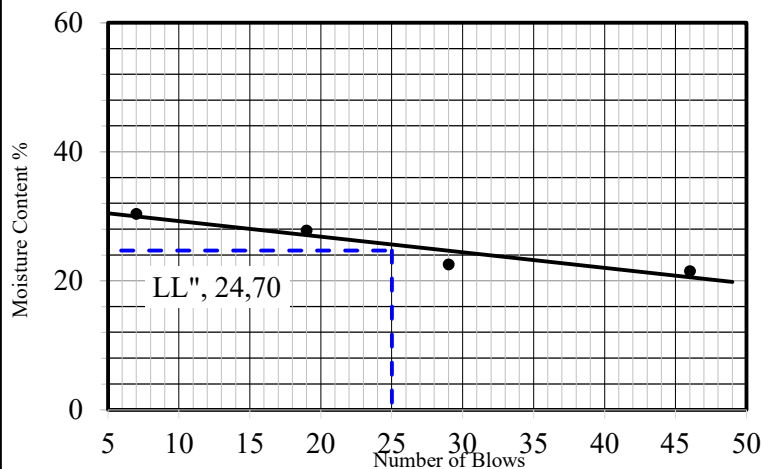
Coarse aggregate specific gravity	(A) =	2,225	gr/cc
Fine aggregate specific gravity	(B) =	1,723	gr/cc
Percentage composition of coarse agg.	(C) =	22,20	%
Percentage composition of fine agg.	(D) =	77,81	%
Specific Gravity of Combine Aggregate	(E) =	$E = (A \times C) + (B \times D)$	
	(E) =	1,834	gr/cc

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S25	ATTERBERG LIMITS	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Source Material : Stone Crusher	DATAMINATION	Date of Test : 19 Jul 2025
Location : Lab PPRE	Aashto T 89 / T 72	Tested by : Deny Adi

Test - Tool				Plastic Limit			Liquid Limits			
Container / No of blow				A	B	Average	1 7	2 19	3 29	4 46
a		Wt. of container + wet soil	Grm.	15,30	15,10		51,30	54,60	52,20	53,20
b		Wt. of container + dry soil	Grm.	14,74	14,56		42,00	45,20	44,70	45,80
c	a - b	Wt. of moisture	Grm.	0,56	0,54		9,30	9,40	7,50	7,40
d		Wt. of container	Grm.	11,40	11,40		11,40	11,40	11,40	11,40
e	b - d	Wt. of dry soil	Grm.	3,34	3,16		30,60	33,80	33,30	34,40
f	c/e*100	Moisture Content	%	16,68	16,93		16,81	30,39	27,81	22,52



Soil Classification : CL

Remark :

Summary

% of Total Sample Passing 0.42 mm (Sieve no. 40)

Liquid Limit (LL) : 24,70 %

Plastic Limit (PL) : 16,81 %

Plastic Indek (PI) : 7,89 %

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : **S25**
 Location : **Lab PPRE**
 Ex. Material : **Stone Crusher**

Proctor Standard

AASHTO T 99 / T 188

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **16 Jul 2025**
 Tested by : **Deny Adi**

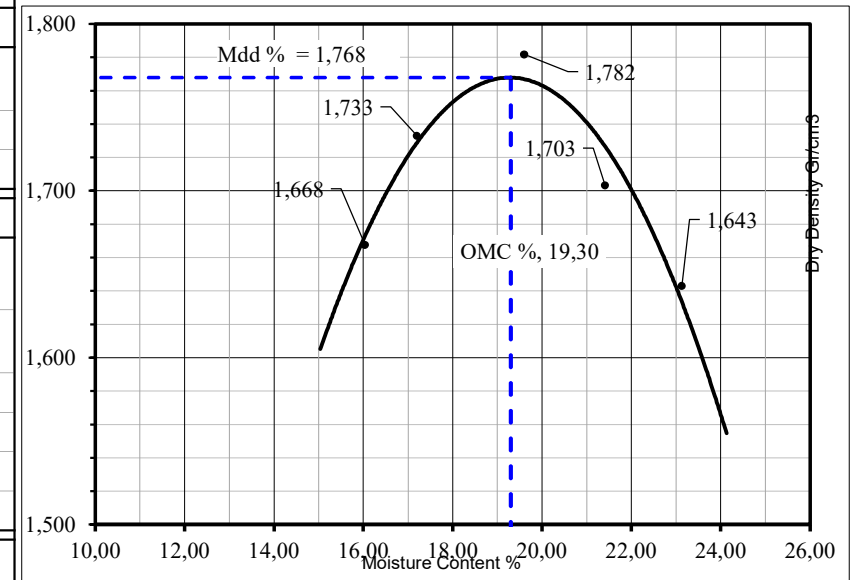
Volume of Mould (A)	:	2101	Cm ³
Weight of Mould (B)	:	6960	Gr.
95% Max density $\bar{\theta}$ d	:	1,679	Gr/cm ³ .

Max. Dry Density : **1,768** Gr/cm³.
 Opt. Water Content : **19,30** %
 Specific Gravity Comb. : _____ Gr/cc

a	Compaction	Required Mc at sample		Cc.	0 cc	100 cc	200 cc	300 cc	400 cc
e		Wt. of Mould+Wet Sample		Gr.	11025,4	11227,1	11437,2	11304,9	11210,3
b		Wt. of Wet Sample	b - B	Gr.	4065	4267	4477	4345	4250
c		Wet Density	c/A	Gr/cm ³	1,935	2,031	2,131	2,068	2,023

1	Moisture Content	Container No.		1	2	3	4	5	
2		Wt. Container+Wet Sample	Gr.	27,6	31,9	36,2	42,7	39,5	
3		Wt. Container+dry Sample	Gr.	25,4	28,9	32,1	37,2	34,2	
4		Wt. of Water	2-3	Gr.	2,2	3,0	4,1	5,5	5,3
5		Wt. of Container		Gr.	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
6		Wt. of Dry Sample	3-5	Gr.	14,0	17,5	20,7	25,8	22,8
7		Moisture Content	4/6*100	%	16,04	17,20	19,60	21,41	23,13

8	Dry Density	$\frac{c}{100+7} \times 100$	Gr/cm ³	1,668	1,733	1,782	1,703	1,643
---	-------------	------------------------------	--------------------	-------	-------	-------	-------	-------



Remark :

	Dikerjakan dan dihitung oleh	QA/QC
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S25	CBR - TEST	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Ex. Material : Stone Crusher	california Bearing Ratio	Date of Test : 20 Jul 2025
Location : Lab PPRE	Aashito T 99 / T 180 Methode	Tested by Deny Adi

No. Of Blow : 65 Blows

Calibration Proving ring : 52,19

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0,0
1/4'	0,013	3,0	156,6
1/2'	0,025	3,5	182,7
1'	0,050	4,5	234,9
1 1/2'	0,075	7,0	365,3
2'	0,10	11,0	574,1
3'	0,15	15,0	782,9
4'	0,20	19,0	991,6
6'	0,30		
8'	0,40		
10'	0,50		

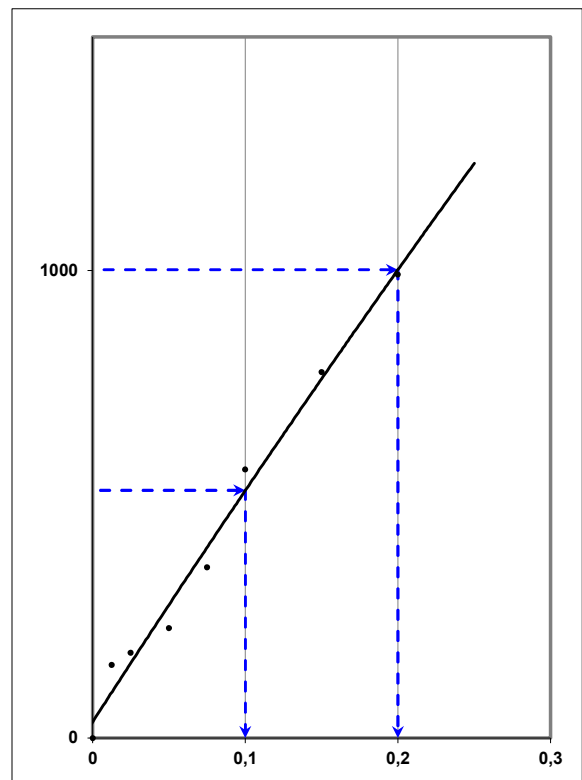
CBR Values			
0.1"		0.2"	
$\frac{529,86}{3 \times 1000} \times 100 \%$		$\frac{1001,97}{3 \times 1500} \times 100 \%$	
17,66 %		22,27 %	

Moisture Content

No.	Container No.		B
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	65,9
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	56,7
c	Wt. of Water	Grm.	9,20
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	45,3
f	Moisture Content	%	20,31

Dry Density

1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	11365
2	Wt. of Mold	Grm.	6746
3	Wt. of wet sample	Grm.	4619
4	Moisture content	%	20,31
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3839
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,827



Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP/ Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S25	CBR - TEST	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Ex. Material : Stone Crusher	california Bearing Ratio	Date of Test : 20 Jul 2025
Location : Lab PPRE	Aashito T 99 / T 180 Methode	Tested by : Deny Adi

No. Of Blow : 35 Blows

Calibration Proving ring : 52,19

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0
1/4'	0,013	2,5	130,5
1/2'	0,025	3,0	156,6
1'	0,050	4,0	208,8
1 1/2'	0,075	5,0	261,0
2'	0,10	8,5	443,6
3'	0,15	10,0	521,9
4'	0,20	14,0	730,7
6'	0,30		
8'	0,40		
10'	0,50		

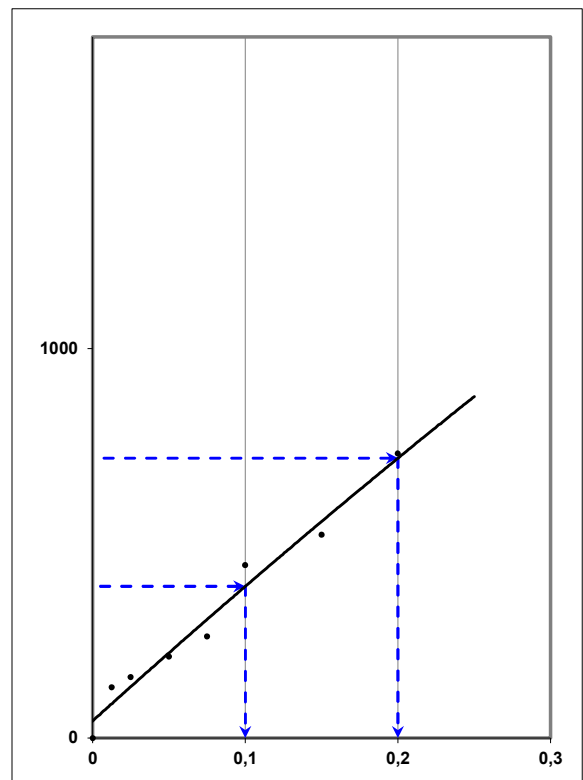
CBR Values			
0.1"		0.2"	
$\frac{389,65}{3 \times 1000} \times 100 \%$		$\frac{718,60}{3 \times 1500} \times 100 \%$	
12,99 %		15,97 %	

Moisture Content

No.	Container No.		B
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	66,7
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	56,8
c	Wt. of Water	Grm.	9,90
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	45,4
f	Moisture Content	%	21,81

Dry Density

1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	11569
2	Wt. of Mold	Grm.	7157
3	Wt. of wet sample	Grm.	4412
4	Moisture content	%	21,81
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3622
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,723



Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S25
Ex. Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

CBR - TEST california Bearing Ratio

Aashto T 99 / T 180 Methode

Date of Sampling : 13 Jul 2025
Date of Test : 20 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

No. Of Blow : 15 Blows

Calibration Proving ring : 52,19

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0,0
1/4'	0,013	1,5	78,3
1/2'	0,025	2,0	104,4
1'	0,050	2,5	130,5
1 1/2'	0,075	3,0	156,6
2'	0,10	4,0	208,8
3'	0,15	5,5	287,0
4'	0,20	7,0	365,3

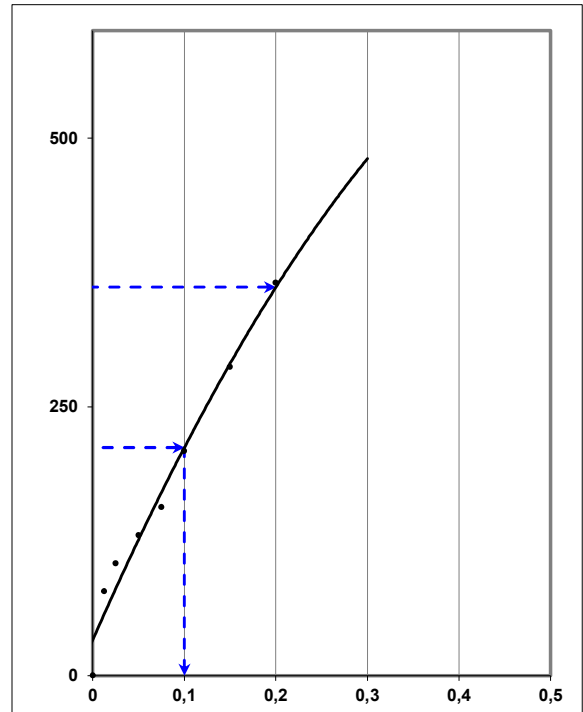
CBR Values	
0.1"	0.2"
$\frac{212,08}{3 \times 1000} \times 100 \%$	$\frac{361,39}{3 \times 1500} \times 100 \%$
7,07 %	8,03 %

Moisture Content

No.	Container No.		
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	59,8
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	49,9
c	Wt. of Water	Grm.	9,90
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	38,5
f	Moisture Content	%	25,71

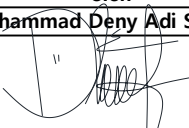
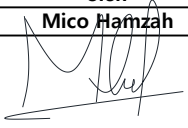
Dry Density

No.	Container No.		
1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	11013
2	Wt. of Mold	Grm.	6756
3	Wt. of wet sample	Grm.	4257
4	Moisture content	%	25,71
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3386
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,611



Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

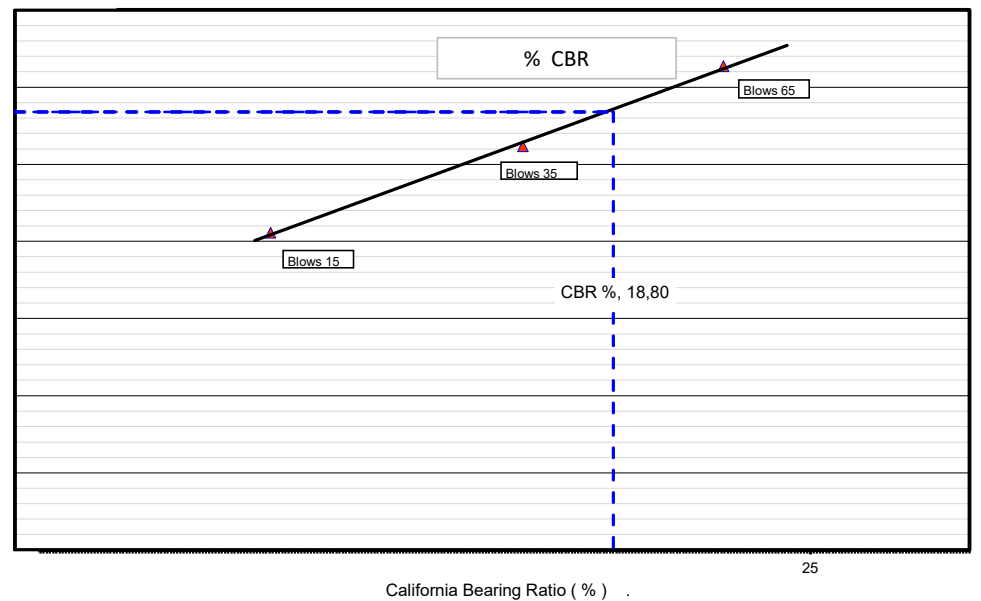
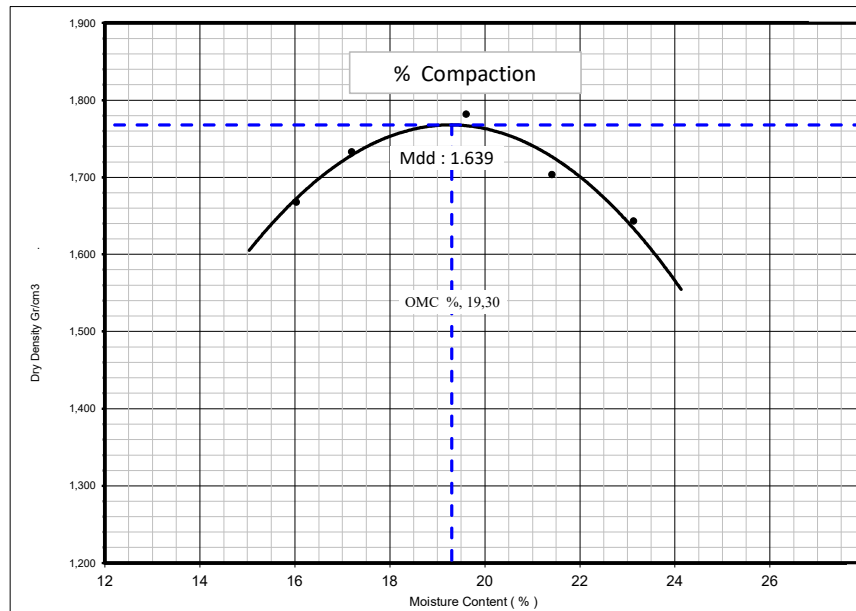
Work Item : S25
Ex. Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

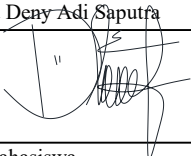
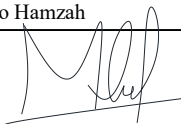
CBR vs Dry Density Curve

Date of Samp : 13 Jul 2025
Date of Test : 23 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

Maximum Dry Density 100% = 1,768 Gr/cm³
Optimum moisture Content = 19,30 %

CBR Mdd 100 % = 18,80 %



	Dikerjakan dan dihitung oleh	Contractor
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

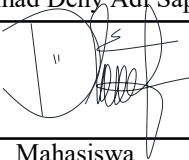
PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
 Work Item : **S25**
 Location : **Lab PPRE**

UJI KADAR AIR

Date of Sampling : **24 Jul 2025**
 Date of Test : **26 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

No	25% SCW + 75% TA	Sample I	Sample II	Satuan
1	Berat Cawan + Tanah Basah	15,10	15,30	Gram
2	Berat Cawan + Tanah Kering	14,58	14,79	Gram
3	Berat air (1-2)	0,52	0,51	Gram
4	Berat Cawan	11,20	11,40	Gram
5	Berat Tanah Kering (2-4)	3,38	3,39	Gram
6	Kadar Air (3/5 * 100)	15,36	15,21	%
7	Kadar Air Rata-rata	15,28		%

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
 Work Item : **S25**
 Location : **Lab PPRE**

UJI KADAR LUMPUR

Date of Sampling : **24 Jul 2025**
 Date of Test : **26 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

25% SCW + 75% TA		Ukuran Maksimum Agregat (No. 4 (4,75 mm))		Satuan
		I	II	
Berat Kering Benda Uji + Wadah	W1	547,1	598,5	Gram
Berat Wadah	W2	11,4	11,2	Gram
Berat Kering Benda Uji Awal	$W3 = (W1 - W2)$	535,7	587,3	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian + Wadah	W4	214,2	242,6	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian	$W5 = (W4 - W2)$	202,8	231,4	Gram
Persen Bahan Lolos Saringan No 200 (0,075 mm)	$W6 = ((W3 - W5)/W3) * 100$	62,14	60,60	%
Rata-rata		61,37		%

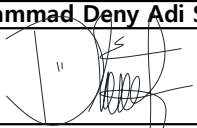
	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Location	Lab PPRE	GRADATION TEST Aashto T 27-82 ASTM C 33	Date of Sampling :	13 Jul 2025
Ex. sample	Stone Crusher		Date of Test :	14 Jul 2025
Type of Mix	S50		Tested By :	Deny Adi

Material 50% SCW + 50% TA				Material 50% SCW + 50% TA				AVERAGE	SPECIFICATION
Weight of sample : 5176,2 Gram				Weight of sample : 5189,4 Gram					
Sieve	Cumulative Weight				Cumulative Weight				
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass		
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)		
4"	0	0,00	100,00	4"	0,0	0,00	100,00	100,00	
No. 4	2200	42,51	57,49	No. 4	2103,8	40,54	59,46	58,48	
No. 200	3855	74,47	25,53	No. 200	3800,2	73,23	26,77	26,15	
Pan	5176	100,00	0,00	Pan	5189,4	100,00	0,00	0,00	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Material -				Material -				AVERAGE	SPECIFICATION
Weight of sample : - Gram				Weight of sample : - Gram					
Sieve	Cumulative Weight			Sieve	Cumulative Weight				
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass		
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)		
4"	-	-	-	4"	-	-	-	-	
No. 4	-	-	-	No. 4	-	-	-	-	
No. 200	-	-	-	No. 200	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

	Dikerjakan dan dihitung	Diperiksa
	oleh	oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Potition	Mahasiswa	Kepala Lab PT. PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : **S50**
 Ex. Material : **Stone Crusher**
 Location : **Lab PPRE**

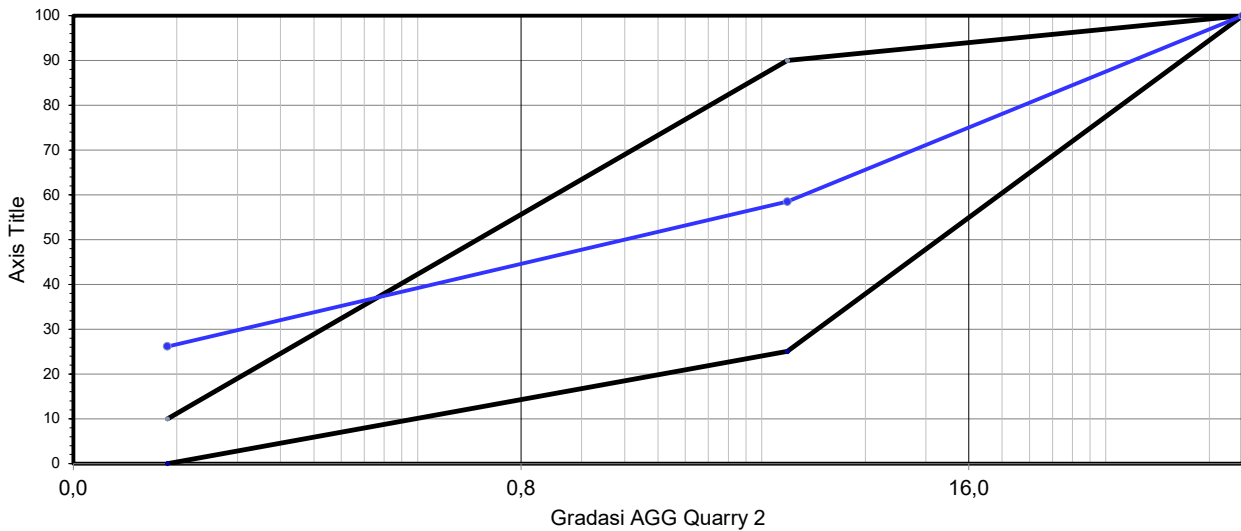
GRADATION TEST

Aashto T 27-82 ASTM C 33

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **14 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

Ex. Stone Crusher

MATERIAL		Retained Cumulative				Passed Cumulative				Average Pased Cumulative	Specification.
Sieve Size		Sampel 1	Sampel 2	-	-	Sampel 1	Sampel 2	-	-		
Inch	mm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
4"	100	0	0	-	-	100	100	-	-	100	
NO 4	4,8	42,51	40,54	-	-	57,49	59,46	-	-	58,48	25 — 90
NO 200	0,075	74,47	73,23	-	-	25,53	26,77	-	-	26,15	0 — 10



Remark :

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : Quarry 2 Work Item : S50 Location : Lab PPRE	SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR COARSE AGGREGATE Aashto T - 84	Date of Sampling : 13 Jul 2025 Date of Test : 15 Jul 2025 Tested By : Deny Adi
---	--	---

Material Granular I		
Coarse aggregate material passing 3/4" sieve and retained on No.4 sieve		
WT of sample (saturated s.d.) in air	A =	3473,8 Grm
WT of sample in water	B =	1922,0 Grm
WT of sample oven-dry in air	C =	3297,3 Grm
$\text{Bulk sp.gr} = \frac{C}{A - B} = 2,125 \text{ gr/cc}$	$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{A - B} = 2,239 \text{ gr/cc}$	
$\text{Apparent sp.gr} = \frac{C}{C - B} = 2,398 \text{ gr/cc}$	$\text{Absorption} = \frac{A - C}{C} \times 100 = 5,353 \%$	

Material Granular II		
Coarse aggregate material passing 3/4" sieve and retained on #.4 sieve		
WT of sample (saturated s.d.) in air	A =	3486,8 Grm
WT of sample in water	B =	1894,9 Grm
WT of sample oven-dry in air	C =	3274,3 Grm
$\text{Bulk sp.gr} = \frac{C}{A - B} = 2,057 \text{ gr/cc}$	$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{A - B} = 2,190 \text{ gr/cc}$	
$\text{Apparent sp.gr} = \frac{C}{C - B} = 2,374 \text{ gr/cc}$	$\text{Absorption} = \frac{A - C}{C} \times 100 = 6,490 \%$	

AVERAGE Bulk sp.gr = 2,091 gr/cc Apparent sp.gr = 2,386 gr/cc	Bulk sp.gr (s.s.d) = 2,214 gr/cc Absorption = 5,921 %
---	--

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
 Work Item : **S50**
 Location : **Lab PPRE**

SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR FINE AGGREGATE

Aashto T - 84

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **15 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

Material Granular I

Fine aggregate material passing #.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air

A = 500 Grm

WT of picnometer filled with water

B = 1344,8 Grm

WT of picnometer + water + sample

C = 1593,7 Grm

WT of oven dry sample

D = 418,7 Grm

$$\text{Bulk sp.gr} = \frac{D}{B+A-C} = 1,667 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{B+A-C} = 1,991 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Apparent sp.gr} = \frac{D}{B+D-C} = 2,466 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Absorption} = \frac{A-D}{D} \times 100 = 19,417 \%$$

Material Granular II

Fine aggregate material passing #.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air

A = 500 Grm

WT of picnometer filled with water

B = 1432,1 Grm

WT of picnometer + water + sample

C = 1644,5 Grm

WT of oven dry sample

D = 476,5 Grm

$$\text{Bulk sp.gr} = \frac{D}{B+A-C} = 1,657 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{B+A-C} = 1,739 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Apparent sp.gr} = \frac{D}{B+D-C} = 1,804 \text{ gr/cc}$$

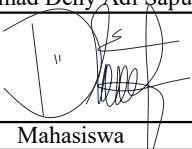
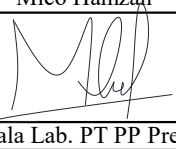
$$\text{Absorption} = \frac{A-D}{D} \times 100 = 4,932 \%$$

AVERAGE Bulk sp.gr = **1,662** gr/cc

Bulk sp.gr (s.s.d) = **1,865** gr/cc

Apparent sp.gr = **2,466** gr/cc

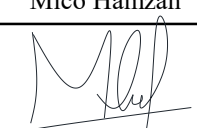
Absorption = **12,175** %

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : Stone Crusher	SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR COMBINE AGGREGATE Aashto T - 84	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Work Item : S50		Date of Test : 15 Jul 2025
Location : Lab PPRE		Tested By : Deny Adi

Coarse aggregate specific gravity	(A) =	2,214	gr/cc
Fine aggregate specific gravity	(B) =	1,865	gr/cc
Percentage composition of coarse agg.	(C) =	41,53	%
Percentage composition of fine agg.	(D) =	58,48	%
Specific Gravity of Combine Aggregate	(E) =	$E = (A \times C) + (B \times D)$	
	(E) =	2,010	gr/cc

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

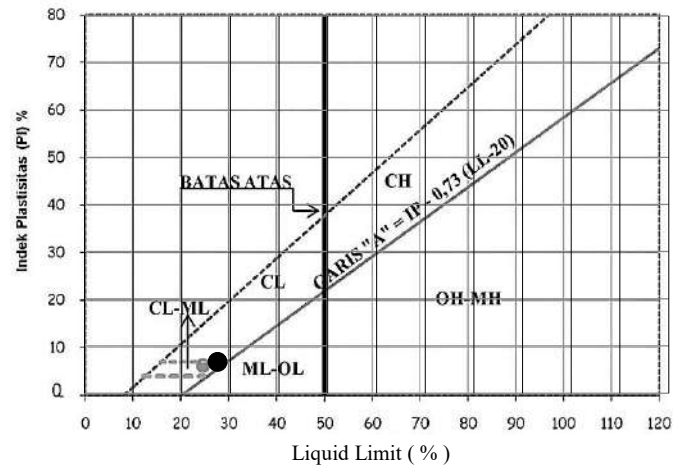
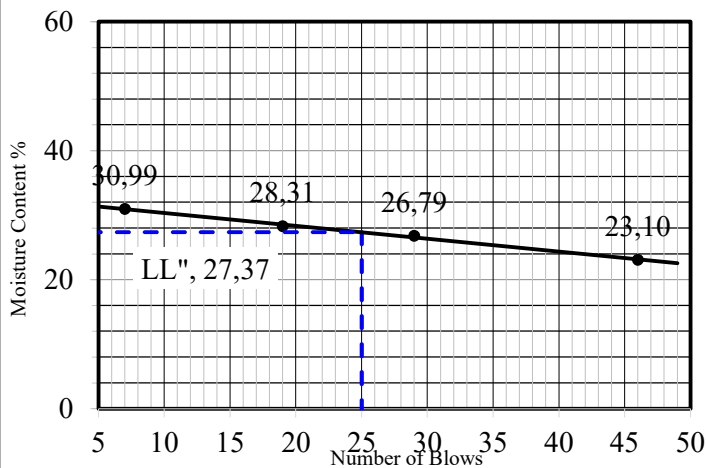
Work Item : S50
Source Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

ATTERBERG LIMITS DATAMINATION

Aashto T 89 / T 72

Date of Sampling : 13 Jul 2025
Date of Test : 19 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

Test - Tool				Plastic Limit			Liquid Limits			
Container / No of blow				A	B	Average	1 7	2 19	3 29	4 46
a		Wt. of container + wet soil	Grm.	16,60	17,20		52,40	53,10	54,00	51,90
b		Wt. of container + dry soil	Grm.	15,80	16,10		42,70	43,90	45,00	44,30
c	a - b	Wt. of moisture	Grm.	0,80	1,10		9,70	9,20	9,00	7,60
d		Wt. of container	Grm.	11,40	11,40		11,40	11,40	11,40	11,40
e	b - d	Wt. of dry soil	Grm.	4,40	4,70		31,30	32,50	33,60	32,90
f	c/e*100	Moisture Content	%	18,18	23,40		20,79	30,99	28,31	26,79



Soil Classification : **CL-ML**

Remark :

Summary
% of Total Sample Passing 0.42 mm (Sieve no. 40)
Liquid Limit (LL) : 27,37 %
Plastic Limit (PL) : 20,79 %
Plastic Index (PI) : 6,57 %

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : **S50**
 Location : **Lab PPRE**
 Ex. Material : **S50**

Proctor Standard

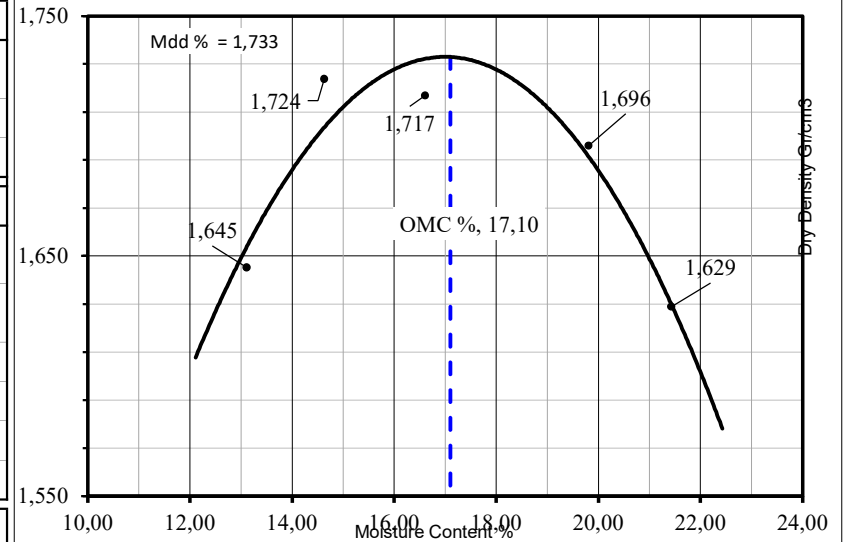
AASHTO T 99 / T 188

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **16 Jul 2025**
 Tested by : **Deny Adi**

Volume of Mould (A)	:	2101	Cm ³
Weight of Mould (B)	:	6960	Gr.
95% Max density $\bar{\theta}$ d	:	1,646	Gr/cm ³ .

Max. Dry Density : 1,733 Gr/cm³.
 Opt. Water Content : 17,10 %
 Specific Gravity Comb. : Gr/cc

a	Compaction	Required Mc at sample		Cc.	0 cc	100 cc	200 cc	300 cc	400 cc
b		Wt. of Mould+Wet Sample		Gr.	10870,0	11111,6	11166,2	11229,2	11115,8
c		Wt. of Wet Sample	b - B	Gr.	3910	4152	4206	4269	4156
d		Wet Density	c/A	Gr/cm ³	1,861	1,976	2,002	2,032	1,978
1	Moisture Content	Container No.			1	2	3	4	5
2		Wt. Container+Wet Sample		Gr.	33,8	37,0	40,6	47,9	44,1
3		Wt. Container+dry Sample		Gr.	31,2	33,7	36,4	41,9	38,3
4		Wt. of Water	2-3	Gr.	2,6	3,3	4,2	6,0	5,8
5		Wt. of Container		Gr.	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
6		Wt. of Dry Sample	3-5	Gr.	19,8	22,3	25,0	30,5	26,9
7		Moisture Content	4/6*100	%	13,11	14,63	16,61	19,81	21,43
8	Dry Density $\frac{g}{100+7} \times 100$			Gr/cm ³	1,645	1,724	1,717	1,696	1,629



Remark :

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP/Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S50	CBR - TEST	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Ex. Material : Stone Crusher	california Bearing Ratio	Date of Test : 20 Jul 2025
Location : Lab PPRE	Aashito T 99 / T 180 Methode	Tested by Deny Adi

No. Of Blow : 65 Blows

Calibration Proving ring : 52,19

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0,0
1/4'	0,013	3,0	156,6
1/2'	0,025	6,0	313,1
1'	0,050	11,0	574,1
1 1/2'	0,075	15,0	782,9
2'	0,10	22,0	1148,2
3'	0,15	31,0	1617,9
4'	0,20	37,0	1931,0
6'	0,30		
8'	0,40		
10'	0,50		

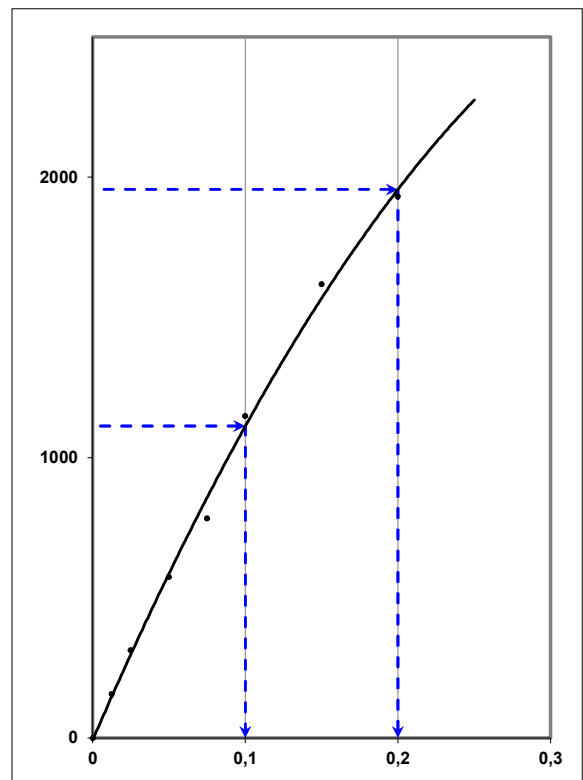
CBR Values	
0.1"	0.2"
$\frac{1112,43}{3 \times 1000} \times 100 \%$	$\frac{1956,38}{3 \times 1500} \times 100 \%$
37,08 %	43,48 %

Moisture Content

No.	Container No.		B
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	61,7
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	53,7
c	Wt. of Water	Grm.	8,00
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	42,3
f	Moisture Content	%	18,91

Dry Density

1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	11184
2	Wt. of Mold	Grm.	6698
3	Wt. of wet sample	Grm.	4486
4	Moisture content	%	18,91
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3772
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,795



Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP/ Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S50
Ex. Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

CBR - TEST california Bearing Ratio Aashito T 99 / T 180 Methode

Date of Sampling : 13 Jul 2025
Date of Test : 20 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

No. Of Blow : 35 Blows

Calibration Proving ring : 52,19

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0
1/4'	0,013	3,0	156,6
1/2'	0,025	5,5	287,0
1'	0,050	8,0	417,5
1 1/2'	0,075	11,0	574,1
2'	0,10	14,0	730,7
3'	0,15	18,0	939,4
4'	0,20	23,0	1200,4
6'	0,30		
8'	0,40		
10'	0,50		

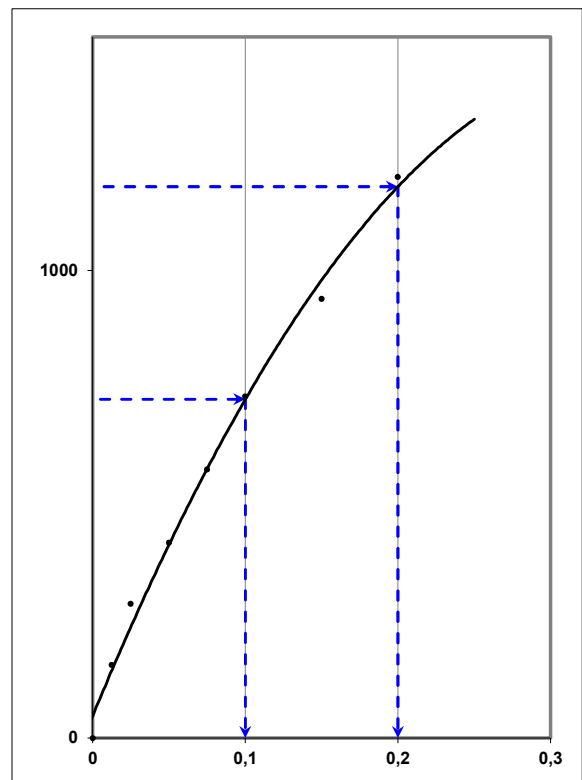
CBR Values			
0.1"		0.2"	
$\frac{724,83}{3 \times 1000} \times 100 \%$		$\frac{1179,69}{3 \times 1500} \times 100 \%$	
24,16 %		26,22 %	

Moisture Content

No.	Container No.		B
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	64,1
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	55,1
c	Wt. of Water	Grm.	9,00
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	43,7
f	Moisture Content	%	20,59

Dry Density

1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	11519
2	Wt. of Mold	Grm.	7217
3	Wt. of wet sample	Grm.	4302
4	Moisture content	%	20,59
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3567
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,697



Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S50
Ex. Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

CBR - TEST california Bearing Ratio

Aashto T 99 / T 180 Methode

Date of Sampling : 13 Jul 2025
Date of Test : 20 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

No. Of Blow : 15 Blows

Calibration Proving ring : 52,19

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0,0
1/4'	0,013	1,0	52,2
1/2'	0,025	1,5	78,3
1'	0,050	3,0	156,6
1 1/2'	0,075	4,5	234,9
2'	0,10	5,5	287,0
3'	0,15	6,0	313,1
4'	0,20	7,0	365,3

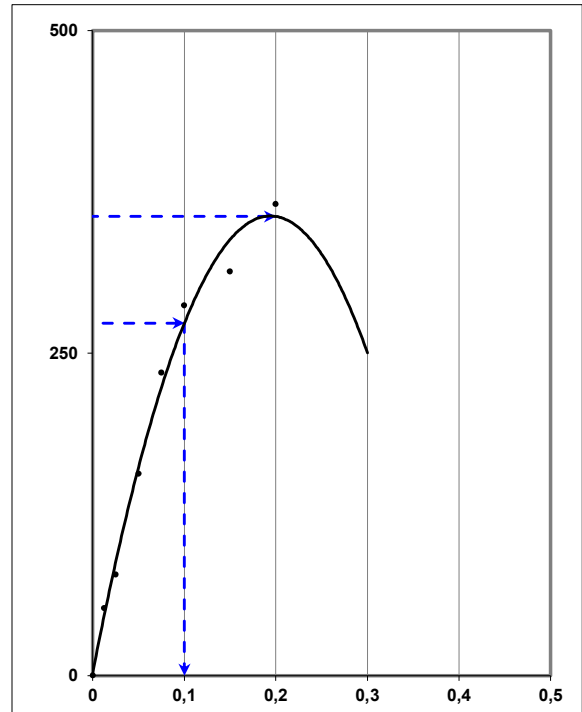
CBR Values	
0.1"	0.2"
$\frac{273,22}{3 \times 1000} \times 100 \%$	$\frac{355,97}{3 \times 1500} \times 100 \%$
9,11 %	7,91 %

Moisture Content

No.	Container No.		
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	63,5
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	53,5
c	Wt. of Water	Grm.	10,02
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	42,1
f	Moisture Content	%	23,81

Dry Density

No.	Container No.		
1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	12057
2	Wt. of Mold	Grm.	7929
3	Wt. of wet sample	Grm.	4128
4	Moisture content	%	23,81
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3334
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,586



Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

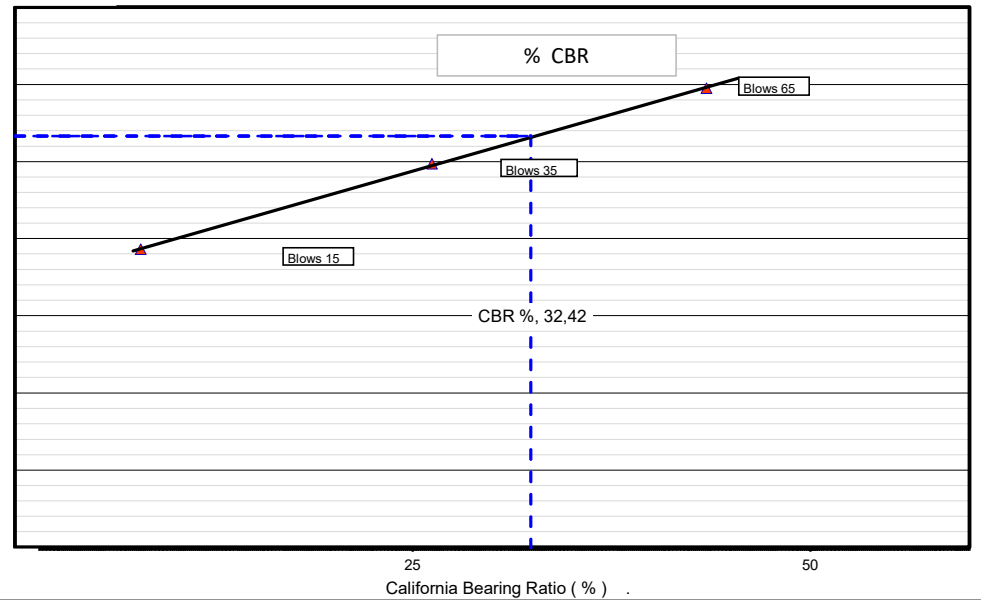
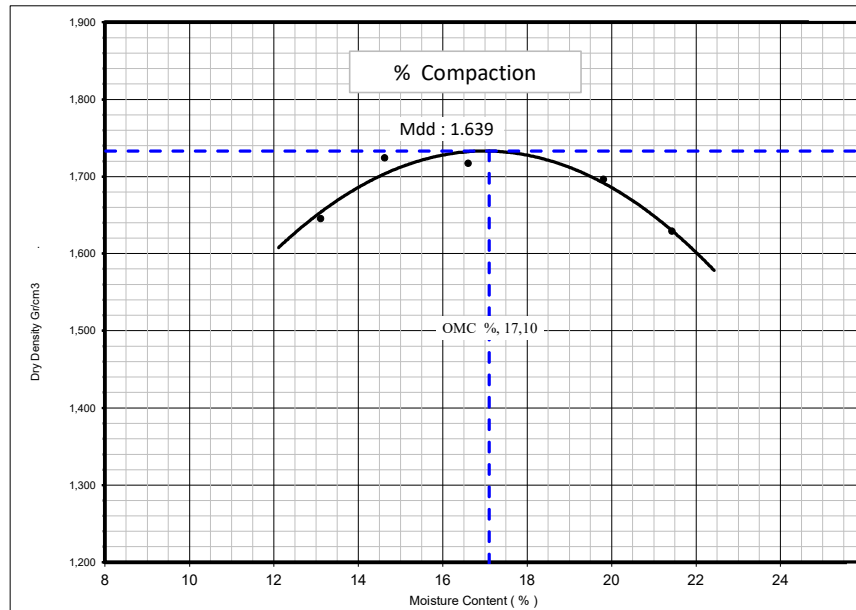
Work Item : S50
Ex. Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

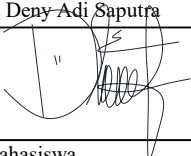
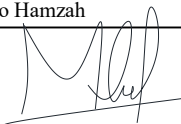
CBR vs Dry Density Curve

Date of Samp : 14 Jul 2025
Date of Test : 24 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

Maximum Dry Density 100% = 1,733 Gr/cm³
Optimum moisture Content = 17,10 %

CBR Mdd 100 % = 32,42 %



	Dikerjakan dan dihitung oleh	Contractor
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

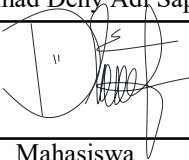
PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
 Work Item : **S50**
 Location : **Lab PPRE**

UJI KADAR AIR

Date of Sampling : **24 Jul 2025**
 Date of Test : **26 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

No	50% SCW + 50% TA	Sample I	Sample II	Satuan
1	Berat Cawan + Tanah Basah	14,90	15,20	Gram
2	Berat Cawan + Tanah Kering	14,40	14,68	Gram
3	Berat air (1-2)	0,50	0,52	Gram
4	Berat Cawan	11,20	11,40	Gram
5	Berat Tanah Kering (2-4)	3,20	3,28	Gram
6	Kadar Air (3/5 * 100)	15,69	15,75	%
7	Kadar Air Rata-rata	15,72		%

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
 Work Item : **S50**
 Location : **Lab PPRE**

UJI KADAR LUMPUR

Date of Sampling : **24 Jul 2025**
 Date of Test : **26 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

50% SCW + 50% TA		Ukuran Maksimum Agregat (No. 4 (4,75 mm))		Satuan
		I	II	
Berat Kering Benda Uji + Wadah	W1	533,8	551,7	Gram
Berat Wadah	W2	11,4	11,2	Gram
Berat Kering Benda Uji Awal	W3 = (W1 - W2)	522,4	540,5	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian + Wadah	W4	392,3	395,6	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian	W5 = (W4 - W2)	380,9	384,4	Gram
Persen Bahan Lolos Saringan No 200 (0,075 mm)	$W6 = ((W3 - W5)/W3) * 100$	27,08	28,89	%
Rata-rata		27,98		%

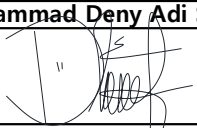
	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Location	Lab PPRE	GRADATION TEST Aashto T 27-82 ASTM C 33	Date of Sampling :	13 Jul 2025
Ex. sample	Quarry 2		Date of Test :	14 Jul 2025
Type of Mix	S75		Tested By :	Deny Adi

Material 75% SCW + 25% TA				Material 75% SCW + 25% TA				AVERAGE	SPECIFICATION
Weight of sample : 5207,2 Gram				Weight of sample : 5346,6 Gram					
Sieve	Cumulative Weight			Sieve	Cumulative Weight				
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass		
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)		
4"	0	0,00	100,00	4"	0,0	0,00	100,00	100,00	
No. 4	2697	51,79	48,21	No. 4	2686,1	50,24	49,76	48,99	
No. 200	4663	89,55	10,45	No. 200	4857,9	90,86	9,14	9,79	
Pan	5207	100,00	0,00	Pan	5346,6	100,00	0,00	0,00	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Material				Material				AVERAGE	SPECIFICATION
-				-					
Weight of sample : - Gram				Weight of sample : - Gram					
Sieve	Cumulative Weight			Sieve	Cumulative Weight				
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass		
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)		
4"	-	-	-	4"	-	-	-	-	
No. 4	-	-	-	No. 4	-	-	-	-	
No. 200	-	-	-	No. 200	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

	Dikerjakan dan dihitung	Diperiksa
	oleh	oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Potition	Mahasiswa	Kepala Lab PT. PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : **S75**
 Ex. Material : **Stone Crusher**
 Location : **Lab PPRE**

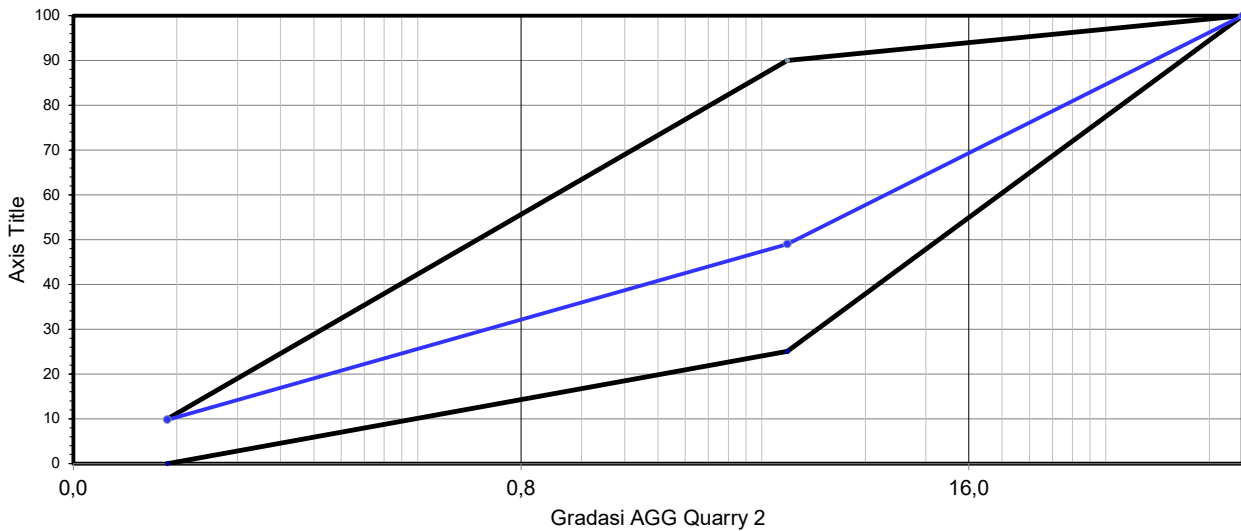
GRADATION TEST

Aashto T 27-82 ASTM C 33

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **14 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

Ex. Stone Crusher

MATERIAL		Retained Cumulative				Passed Cumulative				Average Pased Cumulative %	Specification.
Sieve Size		Sampel 1	Sampel 2	-	-	Sampel 1	Sampel 2	-	-		
Inch	mm	%	%	%	%	%	%	%	%		
4"	100	0	0	-	-	100	100	-	-	100	
NO 4	4,8	51,79	50,24	-	-	48,21	49,76	-	-	48,99	25 — 90
NO 200	0,075	89,55	90,86	-	-	10,45	9,14	-	-	9,79	0 — 10



Remark :

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : Stone Crusher	SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR COARSE AGGREGATE Aashto T - 84	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Work Item : S75		Date of Test : 15 Jul 2025
Location : Lab PPRE		Tested By : Deny Adi

Material Granular I

Coarse aggregate material passing 3/4" sieve and retained on No.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air A = 3500,5 Grm

WT of sample in water B = 1955,0 Grm

WT of sample oven-dry in air C = 3307,6 Grm

Bulk sp.gr = $\frac{C}{A - B} = 2,140 \text{ gr/cc}$ Bulk sp.gr (s.s.d) = $\frac{A}{A - B} = 2,265 \text{ gr/cc}$

Apparent sp.gr = $\frac{C}{C - B} = 2,445 \text{ gr/cc}$ Absorption = $\frac{A - C}{C} \times 100 = 5,832 \%$

Material Granular II

Coarse aggregate material passing 3/4" sieve and retained on #.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air A = 3496,7 Grm

WT of sample in water B = 1923 Grm

WT of sample oven-dry in air C = 3296,6 Grm

Bulk sp.gr = $\frac{C}{A - B} = 2,095 \text{ gr/cc}$ Bulk sp.gr (s.s.d) = $\frac{A}{A - B} = 2,222 \text{ gr/cc}$

Apparent sp.gr = $\frac{C}{C - B} = 2,400 \text{ gr/cc}$ Absorption = $\frac{A - C}{C} \times 100 = 6,070 \%$

AVERAGE	Bulk sp.gr = 2,117 gr/cc	Bulk sp.gr (s.s.d) = 2,243 gr/cc
	Apparent sp.gr = 2,423 gr/cc	Absorption = 5,951 %

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
 Work Item : **S75**
 Location : **Lab PPRE**

SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR FINE AGGREGATE

Aashto T - 84

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **15 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

Material Granular I

Fine aggregate material passing #.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air

A = 500 Grm

WT of picnometer filled with water

B = 1383,9 Grm

WT of picnometer + water + sample

C = 1629,1 Grm

WT of oven dry sample

D = 431,1 Grm

$$\text{Bulk sp.gr} = \frac{D}{B+A-C} = 1,692 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{B+A-C} = 1,962 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Apparent sp.gr} = \frac{D}{B+D-C} = 2,319 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Absorption} = \frac{A-D}{D} \times 100 = 15,982 \%$$

Material Granular II

Fine aggregate material passing #.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air

A = 500 Grm

WT of picnometer filled with water

B = 1456,7 Grm

WT of picnometer + water + sample

C = 1692,6 Grm

WT of oven dry sample

D = 457,6 Grm

$$\text{Bulk sp.gr} = \frac{D}{B+A-C} = 1,733 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{B+A-C} = 1,893 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Apparent sp.gr} = \frac{D}{B+D-C} = 2,064 \text{ gr/cc}$$

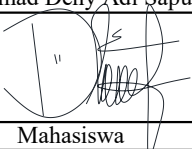
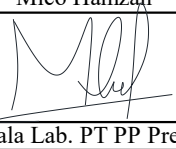
$$\text{Absorption} = \frac{A-D}{D} \times 100 = 9,266 \%$$

AVERAGE Bulk sp.gr = **1,712** gr/cc

Bulk sp.gr (s.s.d) = **1,928** gr/cc

Apparent sp.gr = **2,319** gr/cc

Absorption = **12,624** %

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi



PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3



Source Material : **Stone Crusher**
Work Item : **S75**
Location : **Lab PPRE**

SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR COMBINE AGGREGATE

Aashto T - 84

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
Date of Test : **15 Jul 2025**
Tested By : **Deny Adi**

Coarse aggregate specific gravity (A) = 2,243 gr/cc

Fine aggregate specific gravity (B) = 1,928 gr/cc

Percentage composition of coarse agg. (C) = 51,02 %

Percentage composition of fine agg. (D) = 48,99 %

Specific Gravity of Combine Aggregate (E) = $E = (A \times C) + (B \times D)$

(E) = **2,089** gr/cc

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

Form No :

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : **S75**
Source Material : **Stone Crusher**
Location : **Lab PPRE**

ATTERBERG LIMITS

DATAMINATION

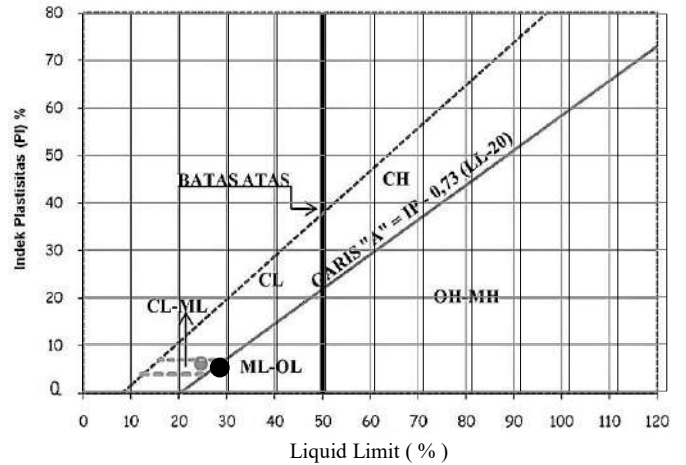
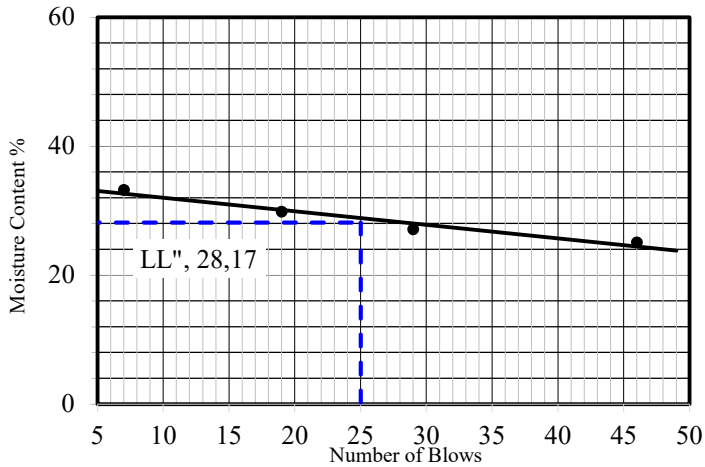
Aashto T 89 / T 72

Date of Sampling : **13 Jul 2025**

Date of Test : 19 Jul 2025

Tested by : **Deny Adi**

Test - Tool				Plastic Limit			Liquid Limits			
Container / No of blow				A	B	Average	1 7	2 19	3 29	4 46
a		Wt. of container + wet soil	Grm.	16,30	16,80		54,30	52,70	53,10	53,80
b		Wt. of container + dry soil	Grm.	15,36	15,80		43,60	43,20	44,20	45,30
c	a - b	Wt. of moisture	Grm.	0,94	1,00		10,70	9,50	8,90	8,50
d		Wt. of container	Grm.	11,40	11,40		11,40	11,40	11,40	11,40
e	b - d	Wt. of dry soil	Grm.	3,96	4,40		32,20	31,80	32,80	33,90
f	c/e*100	Moisture Content	%	23,66	22,74		23,20	33,25	29,87	27,13

Soil Classification : ML-OL

Remark :

Summary

% of Total Sample Passing 0.42 mm (Sieve no. 40)

Liquid Limit (LL) : 28,17 %

Plastic Limit (PL)	:	23,20	%
----------------------	---	-------	---

Plastic Indek (PI)	:	4,98	%
----------------------	---	------	---

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi



PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3



Work Item : **S75**
Location : **Lab PPRE**
Ex. Material : **Stone Crusher**

Proctor Standard

AASHTO T 99 / T 188

Date of Sampling : **13 Jul 2025**

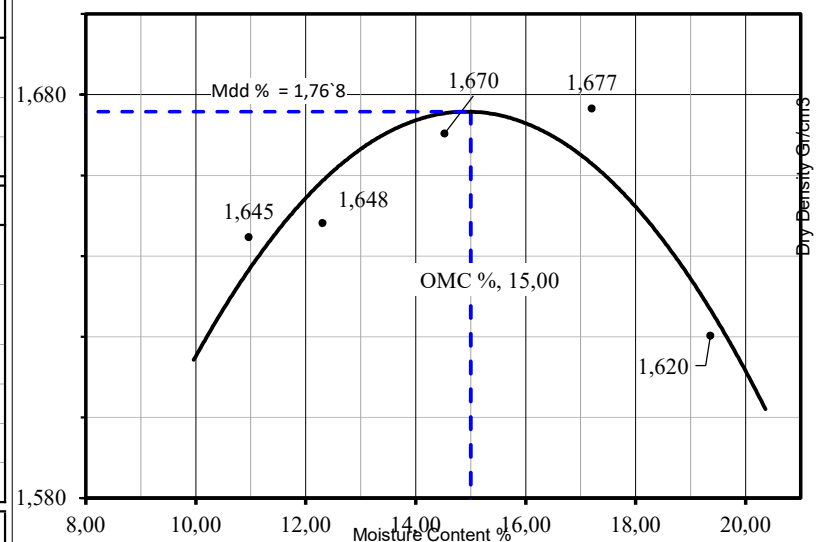
Date of Test : **16 Jul 2025**

Tested by : **Deny Adi**

Volume of Mould (A)	:	2101	Cm ³
Weight of Mould (B)	:	6960	Gr.
95% Max density $\bar{\theta}$ d	:	1,592	Gr/cm ³ .

Max. Dry Density : 1,676 Gr/cm³.
Opt. Water Content : 15,00 %
Specific Gravity Comb. : Gr/cc

a	Compaction	Required Mc at sample		Cc.	0 cc	100 cc	200 cc	300 cc	400 cc
b		Wt. of Mould+Wet Sample		Gr.	10794,3	10849,0	10979,2	11088,5	11023,3
c		Wt. of Wet Sample	b - B	Gr.	3834	3889	4019	4128	4063
d		Wet Density	c/A	Gr/cm ³	1,825	1,851	1,913	1,965	1,934
1	Moisture Content	Container No.			1	2	3	4	5
2		Wt. Container+Wet Sample		Gr.	46,8	51,3	55,7	53,1	56,4
3		Wt. Container+dry Sample		Gr.	43,3	46,9	50,1	47,0	49,1
4		Wt. of Water	2-3	Gr.	3,5	4,4	5,6	6,1	7,3
5		Wt. of Container		Gr.	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
6		Wt. of Dry Sample	3-5	Gr.	31,9	35,5	38,7	35,6	37,7
7		Moisture Content	4/6*100	%	10,96	12,31	14,53	17,20	19,36
8	Dry Density $\frac{g}{100+7} \times 100$			Gr/cm ³	1,645	1,648	1,670	1,677	1,620



Remark :

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP/Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S75	CBR - TEST	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Ex. Material : Stone Crusher	california Bearing Ratio	Date of Test : 20 Jul 2025
Location : Lab PPRE	Aashito T 99 / T 180 Methode	Tested by Deny Adi

No. Of Blow : 65 Blows

Calibration Proving ring : 52,19

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0,0
1/4'	0,013	4,0	208,8
1/2'	0,025	8,0	417,5
1'	0,050	18,0	939,4
1 1/2'	0,075	26,0	1356,9
2'	0,10	34,0	1774,5
3'	0,15	41,0	2139,8
4'	0,20	56,0	2922,6
6'	0,30		
8'	0,40		
10'	0,50		

CBR Values			
0.1"		0.2"	
$\frac{1680,44}{3 \times 1000} \times 100 \%$		$\frac{2848,12}{3 \times 1500} \times 100 \%$	
56,01 %		63,29 %	

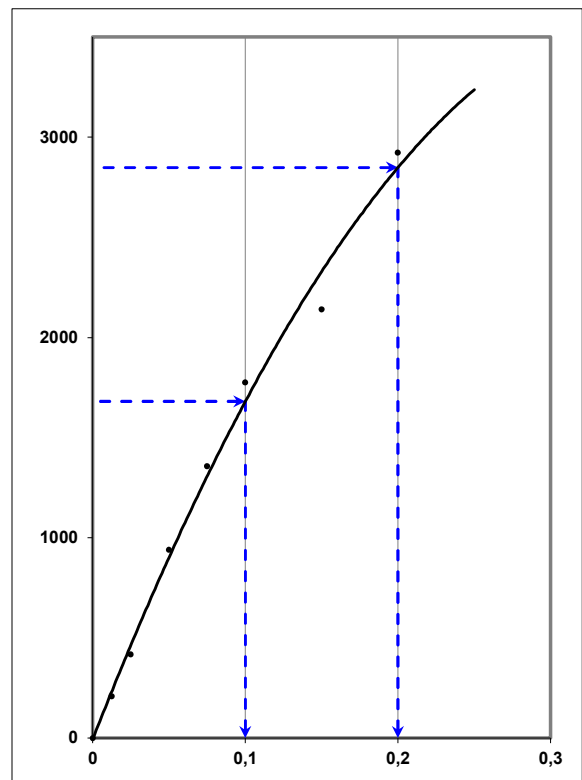
Moisture Content

No.	Container No.		B
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	58,4
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	51,4
c	Wt. of Water	Grm.	7,00
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	40
f	Moisture Content	%	17,50

Dry Density

1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	12034
2	Wt. of Mold	Grm.	7644
3	Wt. of wet sample	Grm.	4390
4	Moisture content	%	17,50
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3736
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,778

1,778 2,08915



Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP/ Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S75
Ex. Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

CBR - TEST california Bearing Ratio Aashito T 99 / T 180 Methode

Date of Sampling : 13 Jul 2025
Date of Test : 20 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

No. Of Blow : 35 Blows

Calibration Proving ring : 52,19

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0
1/4'	0,013	4,0	208,8
1/2'	0,025	7,0	365,3
1'	0,050	12,0	626,3
1 1/2'	0,075	16,0	835,0
2'	0,10	21,0	1096,0
3'	0,15	27,0	1409,1
4'	0,20	35,0	1826,7
6'	0,30		
8'	0,40		
10'	0,50		

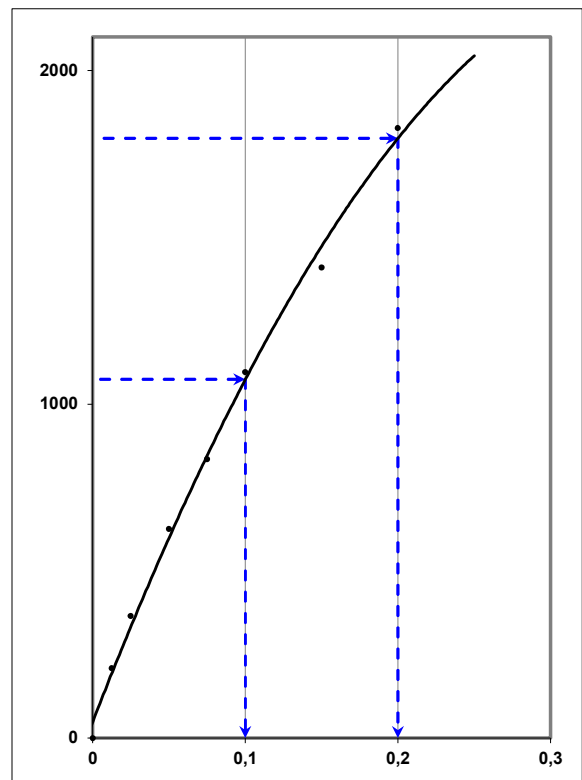
CBR Values			
0.1"		0.2"	
$\frac{1074,37}{3 \times 1000} \times 100 \%$		$\frac{1796,54}{3 \times 1500} \times 100 \%$	
35,81 %		39,92 %	

Moisture Content

No.	Container No.		B
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	57,1
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	49,7
c	Wt. of Water	Grm.	7,40
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	38,3
f	Moisture Content	%	19,32

Dry Density

1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	11254
2	Wt. of Mold	Grm.	7053
3	Wt. of wet sample	Grm.	4201
4	Moisture content	%	19,32
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3521
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,675



Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S75
Ex. Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

CBR - TEST california Bearing Ratio

Aashto T 99 / T 180 Methode

Date of Sampling : 13 Jul 2025
Date of Test : 20 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

No. Of Blow : 15 Blows

Calibration Proving ring : 52,19

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0,0
1/4'	0,013	2,0	104,4
1/2'	0,025	4,0	208,8
1'	0,050	6,0	313,1
1 1/2'	0,075	8,0	417,5
2'	0,10	11,0	574,1
3'	0,15	14,0	730,7
4'	0,20	17,0	887,2

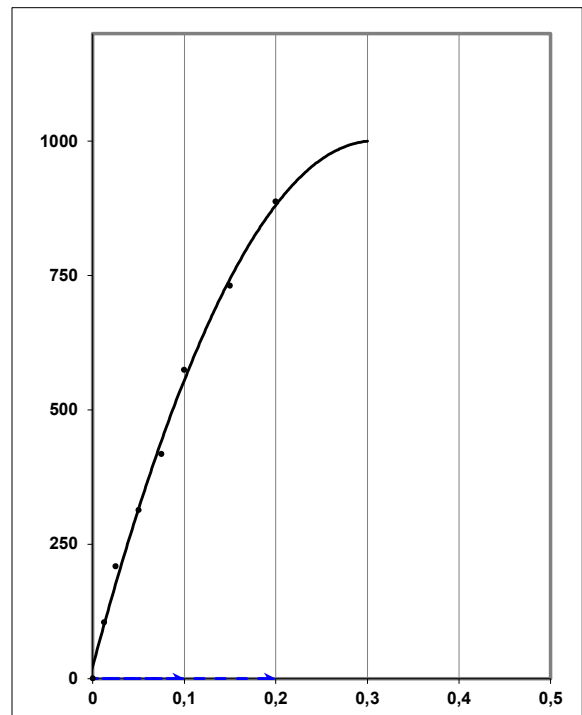
CBR Values			
0.1"		0.2"	
#NAME?	X 100 %	#NAME?	X 100 %
3 X 1000		3 X 1500	
#NAME? %		#NAME? %	

Moisture Content

No.	Container No.		
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	56,5
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	48,7
c	Wt. of Water	Grm.	7,80
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	37,3
f	Moisture Content	%	20,91

Dry Density

No.	Container No.		
1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	11127
2	Wt. of Mold	Grm.	7140
3	Wt. of wet sample	Grm.	3988
4	Moisture content	%	20,91
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3298
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,569



Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

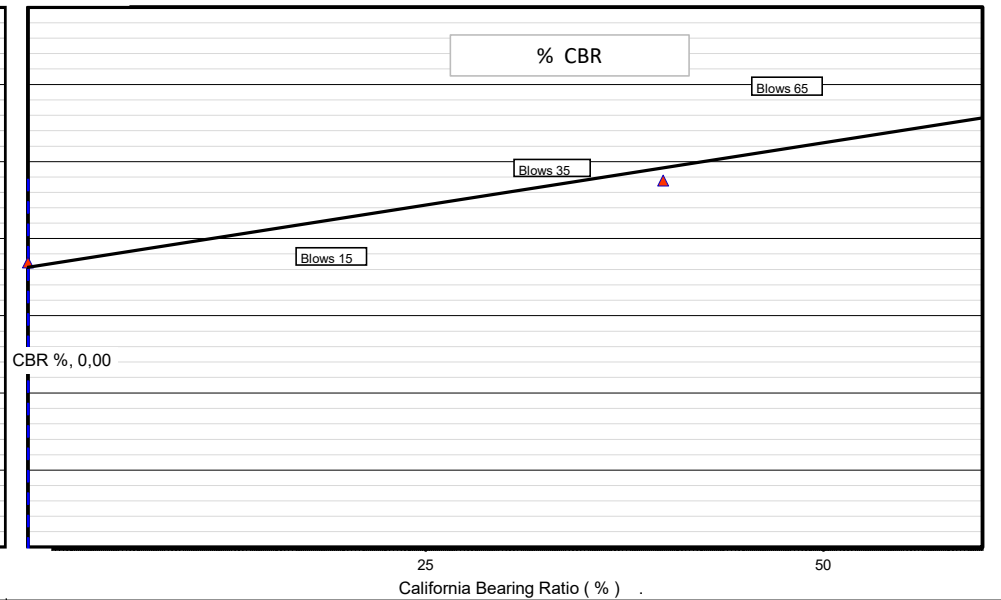
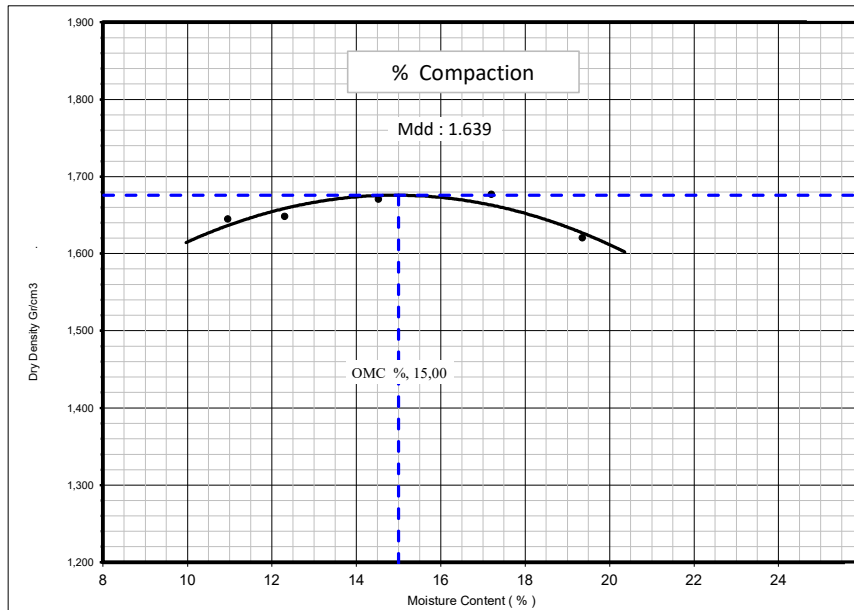
Work Item : S75
Ex. Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

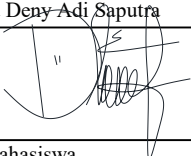
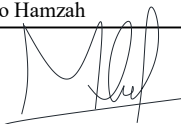
CBR vs Dry Density Curve

Date of Samp : 14 Jul 2025
Date of Test : 24 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

Maximum Dry Density 100% = 1,676 Gr/cm³
Optimum moisture Content = 15,00 %

CBR Mdd 100 % = #VALUE! %



	Dikerjakan dan dihitung oleh	Contractor
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

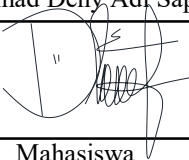
PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
Work Item : **S75**
Location : **Lab PPRE**

UJI KADAR AIR

Date of Sampling : **24 Jul 2025**
Date of Test : **26 Jul 2025**
Tested By : **Deny Adi**

No	75% SCW + 25% TA	Sample I	Sample II	Satuan
1	Berat Cawan + Tanah Basah	15,40	15,80	Gram
2	Berat Cawan + Tanah Kering	14,82	15,19	Gram
3	Berat air (1-2)	0,58	0,61	Gram
4	Berat Cawan	11,20	11,40	Gram
5	Berat Tanah Kering (2-4)	3,62	3,79	Gram
6	Kadar Air (3/5 * 100)	16,11	16,03	%
7	Kadar Air Rata-rata	16,07		%

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
 Work Item : **S75**
 Location : **Lab PPRE**

UJI KADAR LUMPUR

Date of Sampling : **24 Jul 2025**
 Date of Test : **26 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

75% SCW + 25% TA		Ukuran Maksimum Agregat (No. 4 (4,75 mm))		Satuan
		I	II	
Berat Kering Benda Uji + Wadah	W1	567,4	573,4	Gram
Berat Wadah	W2	11,4	11,2	Gram
Berat Kering Benda Uji Awal	W3 = (W1 - W2)	556	562,2	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian + Wadah	W4	505,6	520,1	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian	W5 = (W4 - W2)	494,2	508,9	Gram
Persen Bahan Lolos Saringan No 200 (0,075 mm)	$W6 = ((W3 - W5)/W3) * 100$	11,12	9,49	%
Rata-rata		10,30		%

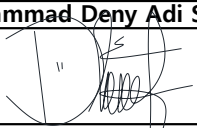
	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Location	Lab PPRE	GRADATION TEST Aashto T 27-82 ASTM C 33	Date of Sampling :	13 Jul 2025
Ex. sample	Stone Crusher		Date of Test :	14 Jul 2025
Type of Mix	S100		Tested By :	Deny Adi

Material100% SCW + 0% TA				Material100% SCW + 0% TA				AVERAGE	SPECIFICATION
Weight of sample : 5046,0 Gram				Weight of sample : 5179,4 Gram					
Sieve	Cumulative Weight			Sieve	Cumulative Weight				
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass		
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)		
4"	0	0,00	100,00	4"	0,0	0,00	100,00	100,00	
No. 4	2812	55,73	44,27	No. 4	2860,4	55,23	44,77	44,52	
No. 200	4931	97,72	2,28	No. 200	5078,0	98,04	1,96	2,12	
Pan	5046	100,00	0,00	Pan	5179,4	100,00	0,00	0,00	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Material				Material				AVERAGE	SPECIFICATION
-				-					
Weight of sample : - Gram				Weight of sample : - Gram					
Sieve	Cumulative Weight			Sieve	Cumulative Weight				
Inch	Retained		Pass	Inch	Retained		Pass		
	(Gram)	(%)	(%)		(Gram)	(%)	(%)		
4"	-	-	-	4"	-	-	-	-	
No. 4	-	-	-	No. 4	-	-	-	-	
No. 200	-	-	-	No. 200	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

	Dikerjakan dan dihitung	Diperiksa
	oleh	oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Potition	Mahasiswa	Kepala Lab PT. PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : **S100**
 Ex. Material : **Stone Crusher**
 Location : **Lab PPRE**

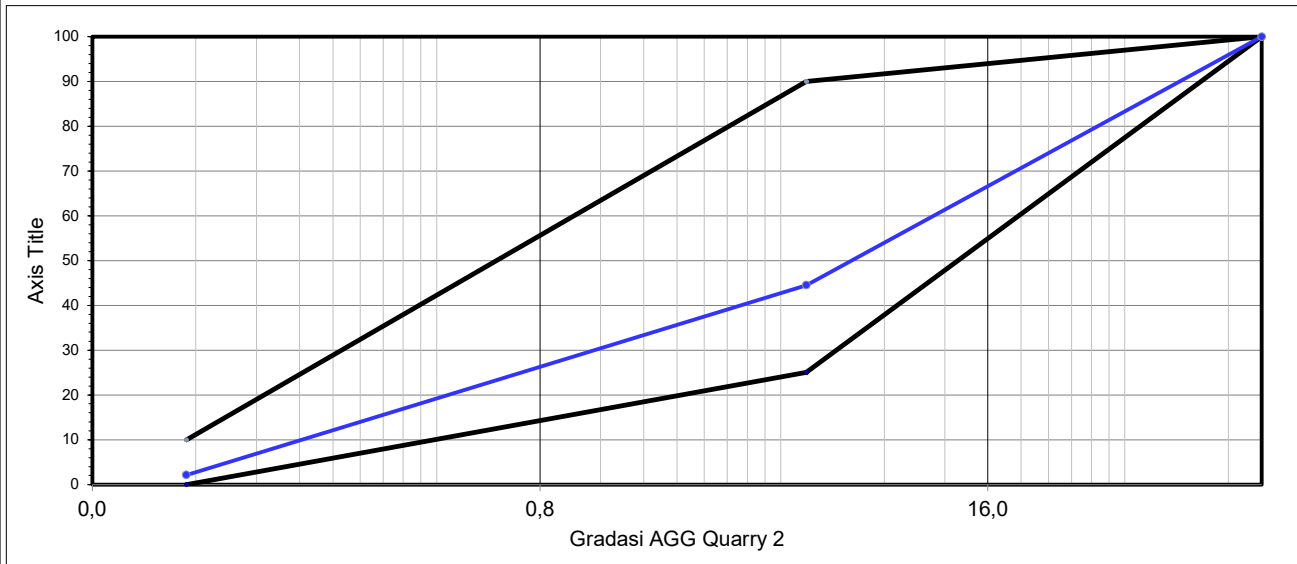
GRADATION TEST

Aashto T 27-82 ASTM C 33

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **14 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

Ex. Stone Crusher

MATERIAL		Retained Cumulative				Passed Cumulative				Average Pased Cumulative %	Specification.
Sieve Size		Sampel 1	Sampel 2	-	-	Sampel 1	Sampel 2	-	-		
Inch	mm	%	%	%	%	%	%	%	%		
4"	100	0	0	-	-	100	100	-	-	100	100
NO 4	4,8	55,73	55,23	-	-	44,27	44,77	-	-	44,52	25 — 90
NO 200	0,075	97,72	98,04	-	-	2,28	1,96	-	-	2,12	0 — 10



Remark :

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : Stone Crusher	SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR COARSE AGGREGATE Aashto T - 84	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Work Item : S100		Date of Test : 15 Jul 2025
Location : Lab PPRE		Tested By : Deny Adi

Material Granular I

Coarse aggregate material passing 3/4" sieve and retained on No.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air A = 3506,6 Grm

WT of sample in water B = 1951,2 Grm

WT of sample oven-dry in air C = 3289,2 Grm

Bulk sp.gr = $\frac{C}{A - B} = 2,115 \text{ gr/cc}$ Bulk sp.gr (s.s.d) = $\frac{A}{A - B} = 2,254 \text{ gr/cc}$

Apparent sp.gr = $\frac{C}{C - B} = 2,458 \text{ gr/cc}$ Absorption = $\frac{A - C}{C} \times 100 = 6,610 \%$

Material Granular II

Coarse aggregate material passing 3/4" sieve and retained on #.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air A = 3525,2 Grm

WT of sample in water B = 1986,2 Grm

WT of sample oven-dry in air C = 3314,8 Grm

Bulk sp.gr = $\frac{C}{A - B} = 2,154 \text{ gr/cc}$ Bulk sp.gr (s.s.d) = $\frac{A}{A - B} = 2,291 \text{ gr/cc}$

Apparent sp.gr = $\frac{C}{C - B} = 2,495 \text{ gr/cc}$ Absorption = $\frac{A - C}{C} \times 100 = 6,347 \%$

AVERAGE	Bulk sp.gr = 2,134 gr/cc	Bulk sp.gr (s.s.d) = 2,273 gr/cc
	Apparent sp.gr = 2,477 gr/cc	Absorption = 6,478 %

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
 Work Item : **S100**
 Location : **Lab PPRE**

SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR FINE AGGREGATE

Aashto T - 84

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **15 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

Material Granular I

Fine aggregate material passing #.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air

A = 500 Grm

WT of picnometer filled with water

B = 1368,6 Grm

WT of picnometer + water + sample

C = 1629,8 Grm

WT of oven dry sample

D = 426,4 Grm

$$\text{Bulk sp.gr} = \frac{D}{B+A-C} = 1,786 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{B+A-C} = 2,094 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Apparent sp.gr} = \frac{D}{B+D-C} = 2,581 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Absorption} = \frac{A-D}{D} \times 100 = 17,261 \%$$

Material Granular II

Fine aggregate material passing #.4 sieve

WT of sample (saturated s.d.) in air

A = 500 Grm

WT of picnometer filled with water

B = 1368,8 Grm

WT of picnometer + water + sample

C = 1624,4 Grm

WT of oven dry sample

D = 424,2 Grm

$$\text{Bulk sp.gr} = \frac{D}{B+A-C} = 1,736 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Bulk sp.gr (s.s.d)} = \frac{A}{B+A-C} = 2,046 \text{ gr/cc}$$

$$\text{Apparent sp.gr} = \frac{D}{B+D-C} = 2,516 \text{ gr/cc}$$

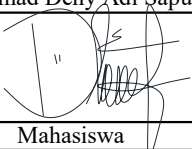
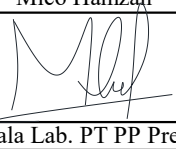
$$\text{Absorption} = \frac{A-D}{D} \times 100 = 17,869 \%$$

AVERAGE Bulk sp.gr = **1,761** gr/cc

Bulk sp.gr (s.s.d) = **2,070** gr/cc

Apparent sp.gr = **2,581** gr/cc

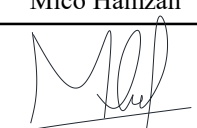
Absorption = **17,565** %

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : Stone Crusher	SPECIFIC GRAVITY & ABSORPTION FOR COMBINE AGGREGATE Aashto T - 84	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Work Item : S100		Date of Test : 15 Jul 2025
Location : Lab PPRE		Tested By : Deny Adi

Coarse aggregate specific gravity	(A) =	2,273	gr/cc
Fine aggregate specific gravity	(B) =	2,070	gr/cc
Percentage composition of coarse agg.	(C) =	55,48	%
Percentage composition of fine agg.	(D) =	44,52	%
Specific Gravity of Combine Aggregate	(E) =	$E = (A \times C) + (B \times D)$	
	(E) =	2,182	gr/cc

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

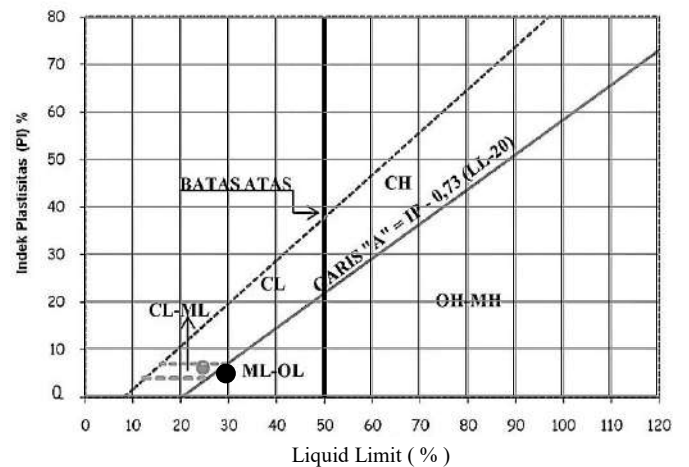
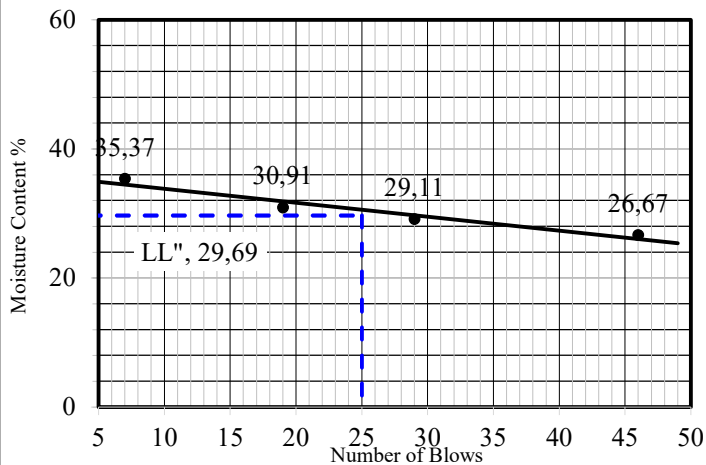
Work Item : S100
Source Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

ATTERBERG LIMITS DATAMINATION

Aashto T 89 / T 72

Date of Sampling : 13 Jul 2025
Date of Test : 19 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

Test - Tool				Plastic Limit			Liquid Limits			
Container / No of blow				A	B	Average	1 7	2 19	3 29	4 46
a		Wt. of container + wet soil	Grm.	15,20	15,60		51,20	54,60	52,20	53,20
b		Wt. of container + dry soil	Grm.	14,40	14,80		40,80	44,40	43,00	44,40
c	a - b	Wt. of moisture	Grm.	0,80	0,80		10,40	10,20	9,20	8,80
d		Wt. of container	Grm.	11,40	11,40		11,40	11,40	11,40	11,40
e	b - d	Wt. of dry soil	Grm.	3,00	3,40		29,40	33,00	31,60	33,00
f	c/e*100	Moisture Content	%	26,67	23,53		25,10	35,37	30,91	29,11



Soil Classification : **ML-OL**

Remark :

Summary
% of Total Sample Passing 0.42 mm (Sieve no. 40)
Liquid Limit (LL) : 29,69 %
Plastic Limit (PL) : 25,10 %
Plastic Index (PI) : 4,59 %

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : **S100**
 Ex. Quarry 2 : **Lab PPRE**
 Ex. Material : **Stone Crusher**

Compaction Test

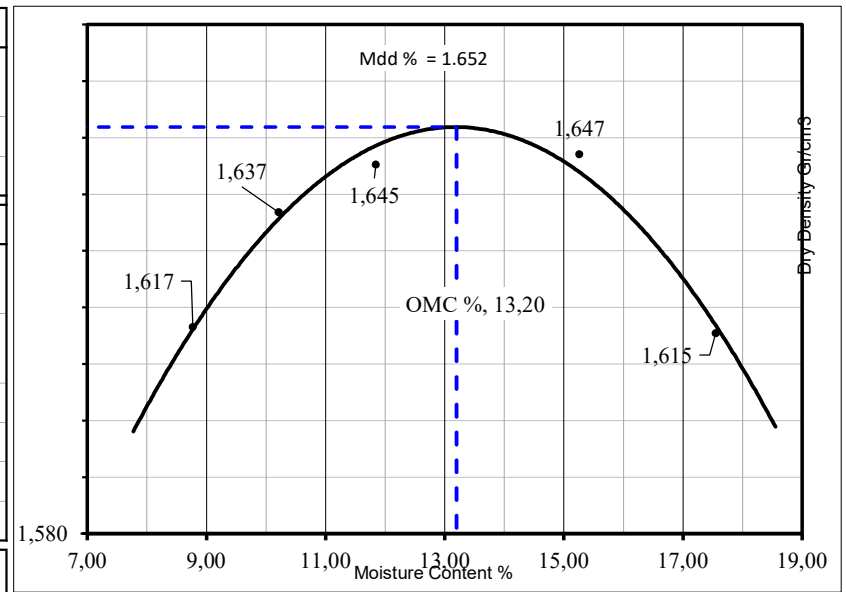
AASHTO T 99 / T 188

Date of Sampling : **13 Jul 2025**
 Date of Test : **16 Jul 2025**
 Tested by : **Deny Adi**

Volume of Mould (A)	:	2101	Cm ³
Weight of Mould (B)	:	6960	Gr.
95% Max density $\bar{\rho}_d$	:	1,569	Gr/cm ³ .

Max. Dry Density : 1,652 Gr/cm³.
 Opt. Water Content : 13,20 %
 Specific Gravity Comb. : _____ Gr/cc

a	Compaction	Required Mc at sample	Cc.	0 cc	100 cc	200 cc	300 cc	400 cc
b		Wt. of Mould+Wet Sample	Gr.	10654,2	10750,2	10826,2	10948,6	10949,8
c		Wt. of Wet Sample	b - B	Gr.	3694	3790	3866	3989
d		Wet Density	c/A	Gr/cm ³	1,758	1,804	1,840	1,898
1	Moisture Content	Container No.		1	2	3	4	5
2		Wt. Container+Wet Sample	Gr.	48,6	52,4	58,6	55,2	55,6
3		Wt. Container+dry Sample	Gr.	45,6	48,6	53,6	49,4	49,0
4		Wt. of Water	2-3	Gr.	3,0	3,8	5,0	6,6
5		Wt. of Container		Gr.	11,4	11,4	11,4	11,4
6		Wt. of Dry Sample	3-5	Gr.	34,2	37,2	42,2	38,0
7		Moisture Content	4/6*100	%	8,77	10,22	11,85	15,26
8		Dry Density	$\frac{g}{100+7} \times 100$	Gr/cm ³	1,617	1,637	1,645	1,647
					1,615			



Remark :

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S100	CBR - TEST	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Ex. Material : Stone Crusher	california Bearing Ratio	Date of Test : 20 Jul 2025
Location : Lab PPRE	Aashito T 99 / T 180 Methode	Tested by Deny Adi

No. Of Blow : 65 Blows

Calibration Proving ring : 29,5

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0,0
1/4'	0,013	5,0	147,5
1/2'	0,025	10,0	295,0
1'	0,050	25,0	737,5
1 1/2'	0,075	42,0	1239,0
2'	0,10	59,0	1740,5
3'	0,15	91,0	2684,5
4'	0,20	120,0	3540,0
6'	0,30		
8'	0,40		
10'	0,50		

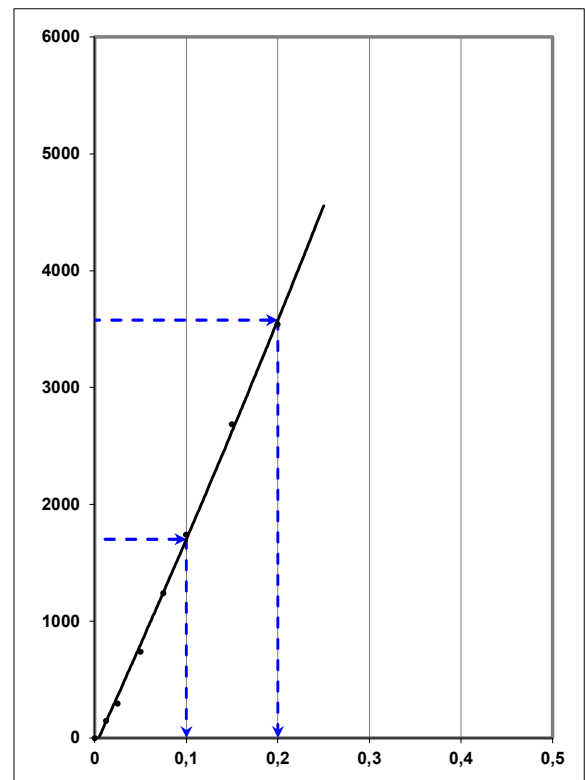
CBR Values			
0.1"		0.2"	
1700,64	X 100 %	3576,74	X 100 %
3 X 1000		3 X 1500	
56,69	%	79,48	%

Moisture Content

No.	Container No.		B
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	67,6
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	60
c	Wt. of Water	Grm.	7,60
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	48,6
f	Moisture Content	%	15,64

Dry Density

1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	11246
2	Wt. of Mold	Grm.	6960
3	Wt. of wet sample	Grm.	4286
4	Moisture content	%	15,64
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3706
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,764



Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP/ Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

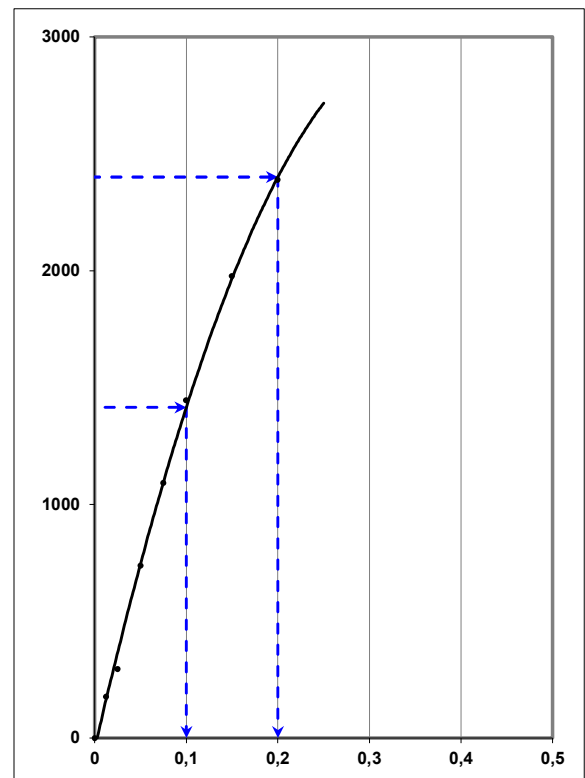
Work Item : S100	CBR - TEST	Date of Sampling : 13 Jul 2025
Ex. Material : Stone Crusher	california Bearing Ratio	Date of Test : 20 Jul 2025
Location : Lab PPRE	Aashito T 99 / T 180 Methode	Tested by : Deny Adi

No. Of Blow : 35 Blows

Calibration Proving ring : 29,5

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0
1/4'	0,013	6,0	177,0
1/2'	0,025	10,0	295,0
1'	0,050	25,0	737,5
1 1/2'	0,075	37,0	1091,5
2'	0,10	49,0	1445,5
3'	0,15	67,0	1976,5
4'	0,20	81,0	2389,5
6'	0,30		
8'	0,40		
10'	0,50		

CBR Values			
0.1"		0.2"	
1415,07	X 100 %	2400,53	X 100 %
3 X 1000		3 X 1500	
47,17	%	53,35	%



Moisture Content

No.	Container No.		B
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	67,5
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	58,6
c	Wt. of Water	Grm.	8,90
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	47,2
f	Moisture Content	%	18,86

Dry Density

1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	11058
2	Wt. of Mold	Grm.	6896
3	Wt. of wet sample	Grm.	4162
4	Moisture content	%	18,86
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3502
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,666

Swelling

Time / Date	1	2	3	4	Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-	
Percent Swell					

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Work Item : S100
Ex. Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

CBR - TEST california Bearing Ratio Aashto T 99 / T 180 Methode

Date of Sampling : 13 Jul 2025
Date of Test : 20 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

No. Of Blow : 15 Blows

Calibration Proving ring : 29,5

Time (menit)	Penetration (inch)	Read of Dial (indicator)	Load (Lbs)
0	0	0,0	0,0
1/4'	0,013	4,0	118,0
1/2'	0,025	6,0	177,0
1'	0,050	11,0	324,5
1 1/2'	0,075	19,0	560,5
2'	0,10	26,0	767,0
3'	0,15	30,0	885,0
4'	0,20	34,0	1003,0

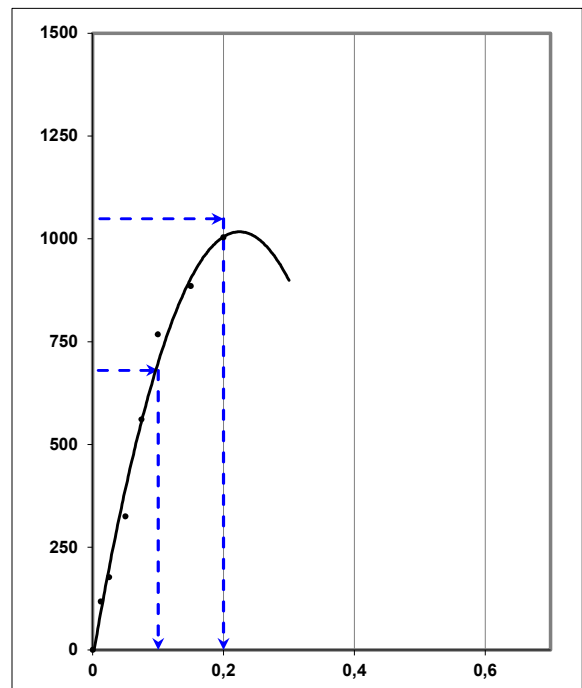
CBR Values			
0.1"		0.2"	
$\frac{680,07}{3 \times 1000} \times 100 \%$		$\frac{1048,67}{3 \times 1500} \times 100 \%$	
22,67 %		23,30 %	

Moisture Content

No.	Container No.		B
a	Wt. Container+Wet Sample	Grm.	59,4
b	Wt. Container+dry Sample	Grm.	52
c	Wt. of Water	Grm.	7,40
d	Wt. of Container	Grm.	11,4
e	Wt. of Dry Sample	Grm.	40,6
f	Moisture Content	%	18,23

Dry Density

1	Wt. Mold+Wet Sample	Grm.	10830
2	Wt. of Mold	Grm.	6949
3	Wt. of wet sample	Grm.	3881
4	Moisture content	%	18,23
5	Wt. of Dry Sample	Grm.	3282
6	Vol. of Mold	Cm ³	2102
7	Dry Density	Gr/cm ³	1,561



Swelling

Time / Date	1	2	3	4		Thickness of Sample In
Dial Reading X 0.001"	-	-	-	-		
Percent Swell						

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

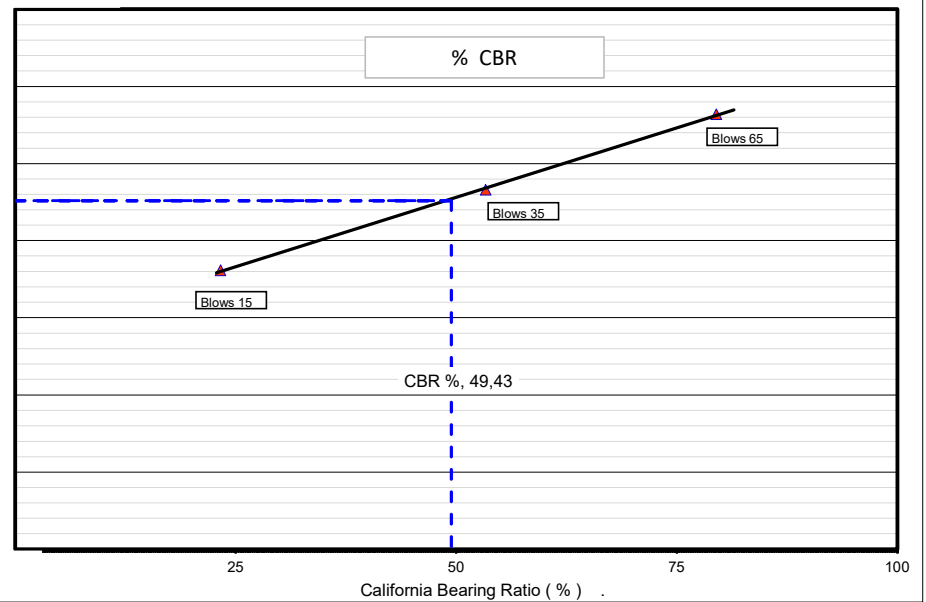
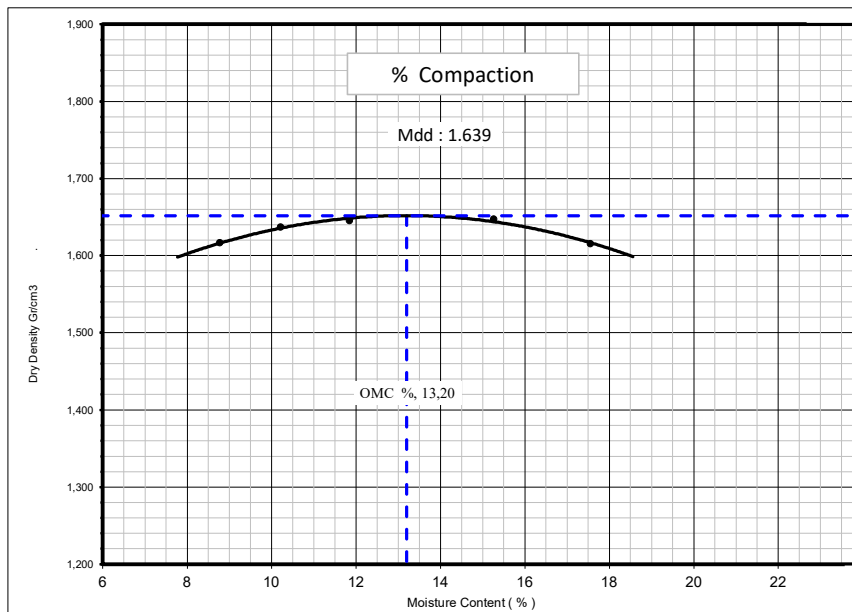
Work Item : S100
Ex. Material : Stone Crusher
Location : Lab PPRE

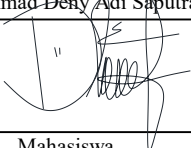
CBR vs Dry Density Curve

Date of Samp : 14 Jul 2025
Date of Test : 24 Jul 2025
Tested by : Deny Adi

Maximum Dry Density 100% = 1,652 Gr/cm³
Optimum moisture Content = 13,20 %

CBR Mdd 100 % = 49,43 %



	Dikerjakan dan dihitung oleh	Contractor
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Date	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

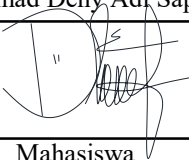
PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
Work Item : **S100**
Location : **Lab PPRE**

UJI KADAR AIR

Date of Sampling : **24 Jul 2025**
Date of Test : **26 Jul 2025**
Tested By : **Deny Adi**

No	100% SCW + 0% TA	Sample I	Sample II	Satuan
1	Berat Cawan + Tanah Basah	15,10	15,50	Gram
2	Berat Cawan + Tanah Kering	14,55	14,90	Gram
3	Berat air (1-2)	0,55	0,60	Gram
4	Berat Cawan	11,20	11,40	Gram
5	Berat Tanah Kering (2-4)	3,35	3,50	Gram
6	Kadar Air (3/5 * 100)	16,57	16,98	%
7	Kadar Air Rata-rata	16,78		%

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

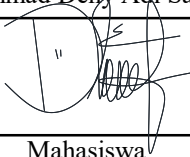
PROJECT IGP BAHODOPI BLOCK 2 & 3

Source Material : **Stone Crusher**
 Work Item : **S100**
 Location : **Lab PPRE**

UJI KADAR LUMPUR

Date of Sampling : **24 Jul 2025**
 Date of Test : **26 Jul 2025**
 Tested By : **Deny Adi**

100% SCW + 0% TA		Ukuran Maksimum Agregat (No. 4 (4,75 mm))		Satuan
		I	II	
Berat Kering Benda Uji + Wadah	W1	543,1	561,8	Gram
Berat Wadah	W2	11,4	11,2	Gram
Berat Kering Benda Uji Awal	$W3 = (W1 - W2)$	531,7	550,6	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian + Wadah	W4	529,5	539,9	Gram
Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian	$W5 = (W4 - W2)$	518,1	528,7	Gram
Persen Bahan Lolos Saringan No 200 (0,075 mm)	$W6 = ((W3 - W5)/W3) * 100$	2,55	3,98	%
Rata-rata		3,27		%

	Dikerjakan dan dihitung oleh	Diperiksa oleh
Name	Muhammad Deny Adi Saputra	Mico Hamzah
Signature		
Position	Mahasiswa	Kepala Lab. PT PP Presisi

GRANULAR SOIL EMBANKMENT TEST RESULT

Source Material

Ex. MHR - 112

Composition

Sieve Size

Inch

mm

Sieve Analysis

Specification

Test Result

Specification

2" 38.10

-

1 1/2" 25.40

-

1" 19.05

0.00

3/4" 12.70

0.00

1/2" 9.525

0.00

3/8" 4.760

100.00

No. 4 2.380

100.00

No. 8 1.190

100.00

No. 10 0.595

100.00

No. 40 0.279

99.62

No. 50 0.300

99.15

No. 100 0.149

98.76

No. 200 0.074

98.36

Compaction Test

Unit

- Maximum Dry Density 100%

Gr/cc

1.794

- Optimum Water Content

%

21.50

CBR Laboratorium

Unit

- CBR ($\partial d = 100\%$)

%

3.21

Classification of Soil

Unit

- Nilai Aktip

%

0.09

- Klasifikasi USCS/Aastho

%

CL

Properties

Description

Unit

Test Result

Specification

Atterberg Limit

— Liquid Limit

%

23.53

— Plastic Limit

%

14.52

— Plastic Indec

%

9.01

max 41 %

min 11 %

LAMPIRAN 4



DOSEN PENGUJI
SEMINAR Proposal TUGAS AKHIR

Hari Sabtu
Tanggal 12 Juli 2025
Jam 13.00 WIB

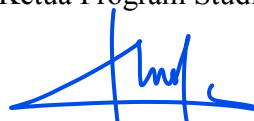
Judul Proposal Tugas Akhir

Analisis Timbunan Perbaikan Subgrade Dengan Substitusi Stone Crusher Waste
(Studi kasus : Indonesia Growth Project Bahodopi Block 2&3)

1	Dyah Ainun Syafitri	30202300193	1	
2	Muhammad Deny Adi Saputra	30202300209	2	

NO	NAMA	Dosen	TANDA TANGAN
1	Dr. Ir. Juny Andry Sulisty,ST,MT	Pembimbing	1 
2	Muhammad Rusli Ahyar,ST,M.Eng	Penguji	2 

Semarang, 12 Juli 2025
Ketua Program Studi Teknik Sipil



M Rusli Ahyar,ST,M.Eng
NIK. 210216089



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

JUDUL Proposal TUGAS AKHIR
DALAM BAHASA INGGRIS

Hari Sabtu
Tanggal 12 Juli 2025
Jam 13.00 WIB

Judul Proposal Tugas Akhir

Analisis Timbunan Perbaikan Subgrade Dengan Substitusi Stone Crusher Waste

(Studi kasus : Indonesia Growth Project Bahodopi Block 2&3)

0

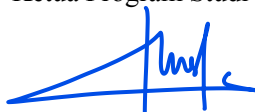
JUDUL Proposal TUGAS AKHIR DALAM BAHASA INGGRIS

1	Dyah Ainun Syafitri	30202300193	1	
2	Muhammad Deny Adi Saputra	30202300209	2	

Pembimbing Tugas Akhir

NO	NAMA	Dosen	TANDA TANGAN
1	Dr. Ir. Juny Andry Sulistyio,ST,MT	Pembimbing	1 

Semarang, 12 Juli 2025
Ketua Program Studi Teknik Sipil



M. Rusli Ahyar,ST,M.Eng
NIK. 210216089



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

Nomor : 20 / A.2 / SA - T / VII / 2025

Pada hari ini, Sabtu tanggal 12 Juli 2025 telah dilaksanakan

Seminar Proposal Tugas Akhir, dengan peserta sebagai berikut :

1 Nama	Dyah Ainun Syafitri	30202300193
2 Nama	Muhammad Deny Adi Saputra	30202300209

Judul proposal TA Analisis Timbunan Perbaikan Subgrade Dengan Substitusi Stone Crusher Waste
(Studi kasus : Indonesia Growth Project Bahodopi Block 2&3)

0

Dengan Hasil : Diterima dengan Revisi
:
:
:

Demikian Berita Acara Seminar Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan penggunaan seperlunya.

Pembimbing

Dr. Ir. Juny Andry Sulistyono, ST, MT

Penguji

Muhammad Rusli Ahyar, ST, M. Eng

Mengetahui ,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M Rusli Ahyar, ST, M. Eng



SEMINAR Proposal TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM :
Hari / Tanggal : Sabtu / 12 Juli 2025
Judul Proposal TA : Analisis Timbunan Perbaikan Subgrade dengan Substitusi Stone Crusher Waste (Studi Kasus : Indinesua Growth Project Bahodopi Block 2&3)

NO	
1	- Dijelaskan apa itu Indonesia Growth Project Bahodopi Block 2&3 - Bab 3 harus didetailkan sifat fisik itu ukuran atau lainnya, dan karakteristik mekanik didetailkan juga - Harus ada 1 paragraf sebelum sub bab - Harus ada narasi sebelum gambar - judul BAB III diganti METODE PENELITIAN
2	- Arah Utara ditambahkan pada peta - Bentuk flowchart start finish - Lokasi Lab ditulis - Tahapan perlakuan sampel hingga penelitian - Pengujian Kadar Lumpur - Ditambah di tabel komposisi
3	- Ditambah nomor pada bagan alir
4	
5	

DOSEN PENGUJI


N. Rendi Ahyar



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

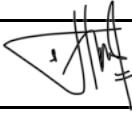
DOSEN PENGUJI
SEMINAR TUGAS AKHIR

Hari Sabtu
Tanggal 02 Agustus 2025
Jam 16.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Analisis Timbunan Perbaikan Subgrade Dengan Substitusi Stone Crusher Waste

(Studi kasus : Indonesia Growth Project Bahodopi Block 2&3)

1	Dyah Ainun Syafitri	30202300193	1	
2	Muhammad Deny Adi Saputra	30202300209	2	

NO	NAMA	Dosen	TANDA TANGAN
1	Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo,ST,MT	Pembimbing	1
2	Muhammad Rusli Ahyar,ST,M.Eng	Penguji	2

Semarang, 2 Agustus 2025
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M Rusli Ahyar,ST,M.Eng
NIK. 210216089



Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

Hari	Sabtu
Tanggal	02 Agustus 2025
Jam	16.00 WIB

Analisis Timbunan Perbaikan Subgrade Dengan Substitusi Stone Cruiser Waste (Studi kasus : Indonesia Growth Project Bahodopi Block 2&3)

JUDUL TUGAS AKHIR DALAM BAHASA INGGRIS

Pembimbing Tugas Akhir

Semarang, 2 Agustus 2025
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M Rusli Ahyar,ST,M.Eng
NIK. 210216089



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

Nomor : 24 / A.2 / SA - T / VIII / 2025

Pada hari ini, Sabtu Tanggal 2 Agustus 2025 telah dilaksanakan

Seminar Tugas Akhir, dengan peserta sebagai berikut :

1 Nama	Dyah Ainun Syafitri	30202300193
2 Nama	Muhammad Deny Adi Saputra	30202300209

Judul TA Analisis Timbunan Perbaikan Subgrade Dengan Substitusi Stone Cruiser Waste
(Studi kasus : Indonesia Growth Project Bahodopi Block 2&3)
0

Dengan Hasil : Diterima dengan revisi
:
:
:

Demikian Berita Acara Seminar Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan digunakan seperlunya.

Dosen Pembimbing

Dosen Penguji

Dr. Ir. Juny Andry Sulisty,ST,MT

Muhammad Rusli Ahyar,ST,M.Eng

Mengetahui ,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M Rusli Ahyar,ST,M.Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM :
Hari / Tanggal : Sabtu / 02 Agustus 2025
Judul TA : Analisis Timbunan Perbaikan Subgrade dengan Substitusi Stone Crusher Waste
(Studi Kasus : Indonesia Growth Project Bahodopi Block 2 & 3)

NO	
1	- Cari spek kadar lumpur untuk subgrade - Pembuatan Uji kadar air - Lengkapi tabel spesifikasi sifat fisik dan mekanik - Penyesuaian Penamaan Tabel pada Komposisi campuran - Ditambahkan datanya tanah asli pada nilai CBR - Tanda tangan dosen Sebelah kanan, kaprodik sebelah kiri - Font harus time new roman
2	- Diberi kode yang lebih ringkas pada setiap komposisinya - Setiap tabel dan grafik ada narasi - Didetailkan nilai MDD dari mana - Komposisi optimum tidak dibandingkan - Dibutuhkan grafik rekap
3	
4	
5	
DOSEN PENGUJI	

LEMBAR ASISTENSI



Nama : Dyah Ainun Syafitri (30202300193)
Muh Deny Adi Saputra (30202300209)
Tugas : Tugas Akhir
Dosen : Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	22 Juni 2025	- Judul dan metode penelitian menggunakan substitusi - Pada Bab III Metodologi ditambahkan komposisi sampel stone crusher waste sesuai yang diinginkan - Abstrak dimunculkan setelah seminar proposal - Batasan masalah dikerucutkan hanya pada STA jalan yang akan diteliti - Perubahan point 3 pada tujuan penelitian yang awalnya Identifikasi biaya diubah menjadi identifikasi campuran terbaik	
2	28 Juni 2025	- Penelitian terdahulu diletakkan di akhir Bab II - Timeline tugas akhir dibuat mulai dari awal proposal sampai selesai seminar hasil	
3	30 Juni 2025	Lanjut ke Seminar Proposal	

LEMBAR ASISTENSI



Nama : Dyah Ainun Syafitri (30202300193)
 Muhammad Deny A.S (30202300209)
 Tugas : Tugas Akhir
 Dosen : Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
4	29 Juli 2025	1. Hapus timeline pada Bab 3 2. Kesimpulan terlalu panjang, disingkat saja yang menjawab dari tujuan dari penelitian	
5	02 Agustus 2025	Seminar Hasil : 1. Cari spek kadar lumpur untuk subgrade 2. Pembuatan Uji kadar air 3. Lengkapi tabel spesifikasi sifat fisik dan mekanik 4. Penyesuaian Penamaan Tabel pada Komposisi campuran - Ditambahka datanya tanah asli pada nilai CBR 5. Tanda tangan dosen Sebelah kanan, kaprodi sebelah kiri 6. Font harus time new roman 7. Diberi kode yang lebih ringkas pada setiap komposisinya - Setiap tabel dan grafik ada narasi 8. Didetailkan nilai MDD dari mana 9. Komposisi optimum tidak dibandingkan 10. Dibutuhkan grafik rekap	
6	12 Agustus 2025	Acc Pendadaran	

ANALISIS TIMBUNAN PERBAIKANSUBGRADE DENGAN SUBSTITUSISTONE CRUSHER WASTE (STUDI KASUS :INDONESIA GROWTH PROJECT BAHODOPIBLOCK 2 & 3)

ORIGINALITY REPORT

23%

SIMILARITY INDEX

22%

INTERNET SOURCES

7%

PUBLICATIONS

13%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Sultan Agung Islamic University	2%
	Student Paper	
2	www.scribd.com	2%
	Internet Source	
3	ejurnal.poliban.ac.id	1%
	Internet Source	
4	adoc.pub	1%
	Internet Source	
5	binamarga.pu.go.id	1%
	Internet Source	
6	eprints.polsri.ac.id	1%
	Internet Source	
7	ejournal.lppmsttpagaralam.ac.id	1%
	Internet Source	
8	docplayer.info	1%
	Internet Source	
9	123dok.com	1%
	Internet Source	