

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT HAIUS
LIMBAH SLAG NIKEL TERHADAP NILAI
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) LAPIS PONDASI
BAWAH KONSTRUKSI JALAN**



Diajukan Kepada Universitas Tadulako Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil

Oleh:

SHAFITRI RAYHANA ADAM
STB. F111 21 157

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
PALU, NOVEMBER 2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT HAIUS LIMBAH SLAG NIKEL TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) LAPIS PONDASI BAWAH KONSTRUKSI JALAN



Diajukan Kepada Universitas Tadulako Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil

Oleh:

SHAFITRI RAYHANA ADAM
STB. F111 21 157

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
PALU, NOVEMBER 2025

FINAL PROJECT

**THE EFFECT OF FINE AGGREGATE USE OF NICKEL *SLAG* WASTE
ON THE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) VALUE OF ROAD
CONSTRUCTION FOUNDATION LAYERS**



Submitted as a partial fulfillment of the requirements for Bachelor Degree
at Civil Engineering

By:

**SHAFITRI RAYHANA ADAM
F111 21 157**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
TADULAKO UNIVERSITY
PALU, NOVEMBER 2025**



HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT HALUS LIMBAH SLAG
NIKEL TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
LAPIS PONDASI BAWAH KONSTRUKSI JALAN**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

SHAFITRI RAYHANA ADAM

F11121157

SKRIPSI

Telah dipertahankan didepan Majelis Penguji dan dinyatakan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1) Teknik Sipil

Pada tanggal 19 November 2025

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Tadulako,



Andi Arham Adam, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19740323 199903 1 002

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako,

Dr. Sriyati Ramadhani, S.T., M.T.
NIP. 19750925 200501 2 011

HALAMAN PERSETUJUAN


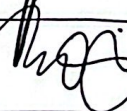
Panitia Ujian Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Tadulako yang ditetapkan berdasarkan SK Dekan Fakultas Teknik No. 22094/UN28.6/KP.00.00/2025, Tanggal 19 November 2025 menyatakan menyetujui Tugas Akhir yang telah dipertanggungjawabkan di hadapan Majelis Penguji pada Hari Rabu Tanggal 19 November 2025 oleh:

Nama : Shafitri Rayhana Adam

No. Stambuk : F11121157

Judul : PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT HALUS LIMBAH
SLAG NIKEL TERHADAP NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO*
(CBR) LAPIS PONDASI BAWAH KONSTRUKSI JALAN

Dosen Pembimbing:

No.	Nama/ NIP	Jabatan	Tanda Tangan
1.	Dr. Ir. H. Syamsul Arifin, M.Sc NIP. 19641111 199102 1 001	Pembimbing 1	
2.	Martini, S.T., M.T NIP. 19720331 199903 2 001	Pembimbing 2	

Palu, 2025
Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako



Dr. Astri Rahayu, ST., MT
NIP. 19670705 199702 2 001

PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN TUGAS AKHIR

Penulis yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Shafitri Rayhana Adam

No. Stb : F11121157

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir ini adalah benar merupakan karya penulis sendiri dan bukan duplikasi dari orang lain, dan sepanjang pengetahuan penulis juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila pada masa mendatang diketahui bahwa pernyataan ini tidak benar adanya, maka penulis akan menerima sanksi yang diberikan dengan segala konsekuensinya.

Demikian pernyataan ini penulis buat dengan sebenar-benarnya.

Palu,

2025



Shafitri Rayhana Adam

Stb. F11121157

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

“Janganlah kamu berduka cita, sesungguhnya Allah selalu Bersama kita”

(Q.S At-Taubah : 40)

“Life can be heavy, especially if you try to carry it all at once. Part of growing up and moving into new chapter of your life is about catch and release, you can't carry all things, decide what is yours to hold and let the rest go.”

(Taylor Swift)

PERSEMBAHAN:

Tugas Akhir ini penulis persembahkan dengan penuh rasa hormat kepada Orang Tua terkasih Bapak **Ir. Muh. Adam., MM.,MS,i** dan Ibu **Dra. Rahmawati Laterey., MS,i** serta kakak-kakak penulis **Syahbudin Adam, SE.,MM, Syarifudin Adam., SE, Shahnaz Adam., S.K.M** dan **Baba Wae** selaku nenek penulis yang telah mendoakan, memberikan dukungan, bantuan yang tak terhingga, pengertian serta kesabaran yang tiada batasnya kepada penulis sehingga dapat menjalani dan menyelesaikan segala tugas dan tanggung jawab selama masa perkuliahan ini dengan baik, serta teman-teman **Teknik Sipil 2021** yang ikut membantu dan mendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur ke hadirat Allāh Subhānahū wa Ta‘ālā, penelitian yang berjudul **“Pengaruh Penggunaan Agregat Halus Limbah *Slag* Nikel Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR) Lapis Pondasi Bawah Konstruksi Jalan”** ini dapat penulis selesaikan dengan baik. Berbagai kendala telah penulis hadapi selama menyusun tugas akhir ini, namun atas izin dan pertolongan-Nya, serta dukungan dari banyak pihak, semua hambatan dapat teratasi. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada Bapak **Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.Sc** dan Ibu **Martini, ST., M.T** selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan yang berharga, serta motivasi yang tiada putus. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Ir.Andi Arham Adam, ST, MSc., Ph.D** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tadulako
2. Ibu **Dr. Sriyati Ramadhani, S.T., M.T** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
3. Ibu **Dr. Ir. Astri Rahayu, ST., MT.** selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, beserta sekretaris.
4. Tim dosen penguji Bapak **Dr. Ir. Jurair Patunrangi,MT.**, Ibu **Dr. Ratnasari Ramlan, ST, MT.**, Ibu **Dr. Fatmawati Amir ST, M.Eng**
5. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Tadulako atas segala ilmu pengetahuan yang telah diberikan.
6. Staf tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Tadulako yang telah membantu pengurusan administrasi selama penulisan menempuh Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
7. Bapak **Ir. Muhammad Adam, MM., M.Si** dan Ibu **Dr. Hj Rahmawati Latery.,M.Si** selaku orangtua terkasih penulis yang telah mendidik dan membesarkan penulis tanpa kenal lelah serta selalu memberikan segalanya untuk penulis. Terima kasih atas semua doa, nasehat, fasilitas penunjang yang telah diberikan.

8. Terima Kasih kepada Kak, Budi, Arif, Tika sebagai saudara penulis yang selalu mau direpotkan dan selalu mendukung.
9. Terima Kasih kepada sahabat Warga Lokal, Adel, Alya, Ara dan Cessh yang selalu menemani penulis dari bangku Putih Abu-abu hingga Almamater dan selalu memberikan dukungan bahkan canda dan tawa yang tulus.
10. Terima Kasih kepada Is'falana, Uly, Ichsan, sahabat penulis yang selalu mendukung dan mendoakan perjalanan penulis.
11. Terima Kasih Kepada Trio *Struktour*; Fiya, Rara, Sely dan Bagas Nur Cahyo, S.T. Petualangan yang luar biasa yang merelakan waktu, tenaga, bantuan, dan materi lainnya yang tak akan bisa terbalas selama perkuliahan penulis.
12. Terima Kasih kepada Tim Semangat Baru telah kebersamai perjuangan selama penelitian Tugas Akhir di Laboratorium Mekanika Tanah. Fiya, Rara, Inayah, Lili, Galuh, Ibnu, La Ode dan Irfan.
13. Terima Kasih kepada, Jessica, Chykal, Arya, Fikri, Rafly dan Rendi yang kebersamai masa sulit dalam mengerjakan laporan dan tugas besar.
14. Terima Kasih kepada *Palu Book Party Team* yang selalu mendukung dan memotivasi penulis. Kiya, Kiki, Bima, Eja, Izul, Gawi, Catur, Arini, Yahya.
15. Terima Kasih kepada Windy, Awa, Tri dan Tim *Black Diamond* yang memberikan dukungan yang tak terhingga.
16. *Last but not least I wanna thank me, for believing in me, for doing this all hard work.*

Sebagai penulis, saya menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Masih banyak hal yang perlu diperbaiki baik penyusunan maupun tulisan. Maka dari itu, saya sangat terbuka untuk menerima semua kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini di masa depan.

Palu, November 2025
Penulis

Shafitri Rayhana Adam
F111 21 157

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Tujuan Penelitian	I-2
1.4 Manfaat Penelitian	I-2
1.5 Batasan Penelitian	I-3
1.6 Metode Penelitian	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-4
2.1 Konstruksi Perkerasan Jalan Lentur.....	II-4
2.1.1 Definisi.....	II-4
2.1.2 Fungsi.....	II-6
2.2 Lapis Pondasi Bawah.....	II-7
2.3 Agregat.....	II-8
2.3.1 Daya Tahan Agregat.....	II-8
2.3.2 Sifat Fisik Agregat	II-9
2.4 <i>Slag Nikel</i>	II-10
2.5 Pemadatan	II-11

2.6 CBR (<i>California Bearing Ratio</i>).....	II-12
BAB III METODE PENELITIAN	III-15
3.1 Bagan Alir Penelitian	III-15
3.2 Studi Literatur	III-16
3.3 Teknik Pengumpulan Data	III-16
3.4 Pengambilan Material	III-16
3.4.1 Lokasi Pengambilan Limbah <i>Slag</i> Nikel	III-16
3.4.2 Metode Pengambilan Limbah <i>Slag</i> Nikel	III-17
3.4.3 Lokasi Pengambilan Agregat	III-17
3.4.4 Metode Pengambilan Agregat	III-18
3.5 Pengujian Laboratorium	III-19
3.5.1 Pengujian Analisa Saringan	III-19
3.5.2 Pengujian Berat Jenis Agregat	III-20
3.5.3 Pengujian Keausan Menggunakan Mesin Abrasi	III-21
3.5.4 Pengujian Pemadatan Tanah	III-21
3.5.5 Pengujian CBR (<i>California Bearing Ratio</i>).....	III-22
3.6 Rancangan Campuran.....	III-22
3.6.1 Komposisi Campuran.....	III-23
3.6.2 Jumlah Benda Uji.....	III-23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-26
4.1 Pemeriksaan Agregat.....	IV-26
4.1.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan	IV-26
4.1.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat dan <i>Slag</i> Nikel.....	IV-27
4.1.3 Abrasi Agregat dan <i>Slag</i> Nikel.....	IV-29
4.2 Uji Pemadatan (Modified Proctor).....	IV-29
4.3 Uji California Bearing Ratio (CBR)	IV-32
BAB KESIMPULAN DAN SARAN	V-35
5.1 Kesimpulan	V-35
5.2 Saran	V-35
DAFTAR PUSTAKA.....	P-1
LAMPIRAN.....	L-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Gradasi Agregat Untuk lapis pondasi bawah dan bahu jalan	II-8
Tabel 2.2	Sifat-sifat Lapis Pondasi Agregat dan Lapis Drainase	II-9
Tabel 2.3	korelasi Data CBR terhadap Klasifikasi Tanah	III-14
Tabel 3.1	Rancangan Campuran Gradasi Ideal	III-23
Tabel 3.2	Komposisi Rancangan Substitusi Slag Nikel	III-24
Tabel 3.3	Sampel Pemadatan Untuk Mencari Kadar Air Optimum	III-24
Tabel 3.4	Sampel Pengujian CBR	III-24
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Analisa Saringan	IV-26
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Alam	IV-27
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Slag Nikel	IV-28
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Abrasi Agregat dan Slag Nikel	IV-29
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Pemadatan (<i>Modified Proctor</i>)	IV-30
Tabel 4.6	Karakteristik Pemadatan Campuran <i>Slag Nikel (Modified Proctor)</i>	IV-33
Tabel 4.7	Nilai Rata-rata Uji California Bearing Ratio (CBR)	IV-33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Susunan Perkerasan Lentur	II-5
Gambar 2.2	Kurva Ubungan Antara Beban Dan Penetrasi	II-14
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	III-15
Gambar 3.2	Peta Lokasi Pengambilan Limbah Slag	III-16
Gambar 3.3	Pengambilan Limbah Slag Nikel	III-17
Gambar 3.4	Peta Lokasi Pengambilan Agregat	III-18
Gambar 3.5	Pengambilan Agregat	III-18
Gambar 4.1	Tipikal Bentuk Slag Nikel Dan Agregat Halus	IV-26
Gambar 4.2	Grafik Pengujian Analisa Saringan	IV-27
Gambar 4.2	Nilai Kadar Air Optimum dan Kepadatan Kering Maks	IV-27
Gambar 4.4	Grafik Karakteristik Pemadatan Campuran Slag Nikel	IV-32
Gambar 4.5	Grafik Hasil Cbr Tanpa Rendaman Pada Penetrasi 0,1”	IV-32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Analisa Saringan	1
Lampiran 2	Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar	2
Lampiran 3	Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus	3
Lampiran 4	Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan slag nikel	4
Lampiran 5	Hasil Pengujian Abrasi Agregat	5
Lampiran 6	Hasil Pengujian Abrasi Slag Nikel	6
Lampiran 7	Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 0% Slag Nikel	7
Lampiran 8	Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 20% Slag Nikel	8
Lampiran 9	Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 40% Slag Nikel	9
Lampiran 10	Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 60% Slag Nikel	10
Lampiran 11	Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 80% Slag Nikel	11
Lampiran 12	Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 100% Nikel	12
Lampiran 13	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 0% Slag Nikel Sampel 1	13
Lampiran 14	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 0% Slag Nikel Sampel 2	14
Lampiran 15	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 20% Slag Nikel Sampel 1	15
Lampiran 16	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 20% Slag Nikel Sampel 2	16
Lampiran 17	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 40% Slag Nikel Sampel 1	17
Lampiran 18	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 40% Slag Nikel Sampel 2	18
Lampiran 19	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 60% Slag Nikel Sampel 1	19
Lampiran 20	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 60% Slag Nikel Sampel 2	20

Lampiran 21	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 80% Slag Nikel Sampel 1	21
Lampiran 22	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 80% Slag Nikel Sampel 2	22
Lampiran 23	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 100% Slag Nikel Sampel 1	23
Lampiran 24	Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 100% Slag Nikel Sampel 2	24
Lampiran 25	Dokumentasi Pengambilan Material Agregat Alam	25
Lampiran 26	Dokumentasi Pengambilan Material Slag Nikel	26
Lampiran 27	Dokumentasi Pengujian Material	27
Lampiran 28	Dokumentasi Pengujian Material	28
Lampiran 29	Dokumentasi Pengujian Modified Proctor dan CBR Unsoaked	29

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

NOTASI/SINGKATAN	ARTI DAN KETERANGAN
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
MDD	Maximum Dry Density (Kepadatan Kering Maksimum)
OMC	Optimum Moisture Content (Kadar Air Optimum)
ASTM	American Society for Testing and Materials
SNI	Standar Nasional Indonesia
γ	Berat isi atau berat volume
KAO	Kadar Air Optimum
MP	<i>Modified Proctor</i>

PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT HALUS LIMBAH *SLAG* NIKEL TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) LAPIS PONDASI BAWAH KONSTRUKSI JALAN

Shafitri Rayhana Adam, Syamsul Arifin, Martini

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis pengaruh substitusi agregat halus dengan limbah slag nikel pada lapis pondasi bawah jalan. Limbah slag diambil dari PT Indonesia Huabao, Morowali, dan agregat konvensional dari PT Hasal Logam Utama, Palu, dengan variasi campuran 0%-100%. Pengujian meliputi analisa saringan, berat jenis, abrasi, pemadatan Modified Proctor, dan uji CBR tanpa perendaman. Hasil menunjukkan penambahan slag nikel meningkatkan kepadatan kering maksimum dari 2,201 menjadi 2,278 gr/cm³ dan menurunkan kadar air optimum dari 7,65% menjadi 4,15%. Nilai CBR tertinggi 81,11% hingga 84,89% pada variasi 100% slag nikel, lebih tinggi dari standar Bina Marga (>60%). Temuan ini menyatakan slag nikel berpotensi sebagai pengganti agregat halus yang ramah lingkungan dengan daya dukung sangat baik untuk lapis pondasi bawah jalan.

Kata Kunci: *slag nikel, agregat halus, pondasi bawah, CBR, kepadatan, kadar air*

THE EFFECT OF THE USE OF NICKEL *SLAG* WASTE FINE AGGREGATE ON CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) VALUE UNDER FOUNDATION LAYER OF ROAD CONSTRUCTION

Shafitri Rayhana Adam, Syamsul Arifin, Martini

ABSTRACT

This study analyzes the effect of substituting fine aggregate with nickel slag waste in the lower foundation layer of road construction. The nickel slag was sourced from PT Indonesia Huabao in Morowali, Central Sulawesi, and the conventional aggregate from PT Hasal Logam Utama in Palu, with substitution variations from 0% to 100%. Laboratory tests included sieve analysis, specific gravity and absorption, abrasion, Modified Proctor compaction, and unsoaked CBR tests. Results show that adding nickel slag increased the maximum dry density from 2.201 to 2.278 g/cm³ and decreased the optimum moisture content from 7.65% to 4.15%. The highest unsoaked CBR value, 81.11% to 84.89%, was achieved at 100% variation of nickel slag, exceeding the 2025 Bina Marga minimum requirement (>60%). These findings indicate that nickel slag waste has great potential as a sustainable fine aggregate substitute in the lower road foundation layer, providing excellent bearing capacity and supporting environmentally friendly construction materials.

Key Words: *nickel slag, fine aggregate, sub base course, CBR, density, optimum water*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara penghasil nikel di dunia, yang mempunyai cadangan nikel sebesar 52% dari cadangan dunia sebanyak 139 juta ton Nikel. Untuk memproduksi *ferronickel* yang dilakukan secara pirometalurgi, akan menghasilkan sejumlah kecil produk *ferronickel* dan sejumlah besar limbah *slag*. Penggunaan *slag* telah banyak digunakan sebagai material perkerasan lentur, perkerasan beton dan material timbunan. Pada beberapa penggunaan *slag* nikel yang sudah dilakukan hanya berfokus pada penggunaan bahan limbah saja, tidak dicampur dengan bahan lain karena *slag* nikel merupakan material *granular*.

Peningkatan pembangunan infrastruktur jalan dilakukan oleh Pemerintah untuk menunjang sarana transportasi darat di seluruh wilayah Indonesia bahkan meningkatkan perekonomian. Pembangunan tersebut berkaitan dengan penggunaan material konvensional sebagai bahan baku perkerasan jalan. Penggunaan material konvensional kadang dianggap kurang ekonomis dan tidak ramah lingkungan. Maka, untuk mendukung pelestarian lingkungan, penggunaan material sampingan industri telah banyak digunakan dan diteliti sebagai pengganti material alam. Jalan adalah sarana transportasi utama yang digunakan oleh masyarakat Indonesia untuk mobilitas sehari-hari, sehingga jumlah kendaraan yang melewati suatu jalan akan memengaruhi kapasitas dan kemampuan dukung jalan tersebut. Kekuatan dan ketahanan konstruksi perkerasan jalan sangat bergantung pada sifat-sifat daya dukung tanah dasar. (Wiziarti & Rahayu, 2022).

Konstruksi jalan raya tersusun dari beberapa lapisan yang dibangun di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Setiap lapisan memiliki fungsi untuk menerima dan mendistribusikan beban lalu lintas, yang berasal dari tekanan roda kendaraan, secara merata ke lapisan di bawahnya. Sehingga, beban yang akhirnya diteruskan ke tanah dasar menjadi lebih kecil dari kapasitas daya dukung tanah tersebut. (Darmawan dkk., 2022)

California Bearing Ratio (CBR) adalah metode untuk mengukur kemampuan tanah dalam menopang beban yang bekerja di atasnya, khususnya beban dari perkerasan jalan. Nilai CBR tersebut dapat diperoleh melalui pengujian laboratorium menggunakan alat yang disebut alat uji CBR. (Raharja dkk., 2024)

1.2 Rumusan Masalah

Dengan mempertimbangkan latar belakang yang telah dijelaskan, permasalahan masalah yang akan dijawab dalam penelitian ini adalah Bagaimana Pengaruh Penggunaan Agregat Halus Limbah *Slag* Nikel Terhadap Nilai CBR Lapisan Pondasi Bawah Konstruksi Jalan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini Adalah untuk Menganalisis Pengaruh Penggunaan Agregat Halus Limbah *Slag* Nikel Terhadap Nilai CBR Lapisan Pondasi Bawah Konstruksi Jalan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitan ini sebagai berikut:

1. Bagi Penulis
Peningkatan kemampuan analisis dan pemecahan masalah dan perluasan wawasan.
2. Bagi Universitas/Instansi
Menjadi materi ajar baru bagi dosen, sehingga kurikulum dan materi kuliah bagi mahasiswa menjadi lebih relevan dan terkini sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan.
3. Bagi Mahasiswa
Pengembangan ilmu dalam memberikan solusi untuk masalah-masalah yang dihadapi oleh Masyarakat.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini yaitu:

1. Penelitian ini difokuskan pada lapis pondasi bawah knstruksi jalan tanpa meneliti bagian dari lapis perkerasan lainnya.
2. Penelitian ini hanya berfokus pada pemanfaatan limbah *slag* nikel dengan variasi 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% sebagai bahan campuran pada agregat halus lapisan pondasi bawah konstruksi jalan.
3. Parameter lain seperti ketahanan terhadap cuaca atau bahan kimia tidak dianalisis dalam penelitian ini.
4. Limbah *Slag* nikel diambil pada Perusahaan PT Indonesia Huabao Industrial Park (IHIP).
5. Agregat alam yang digunakan diperoleh dari PT. Hasal Logam Utama, Kota Palu.
6. Pengujian California Bearing Ratio (CBR) dilakukan pada sampel dengan kondisi tanpa rendaman.

1.6 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen untuk menyelidiki hubungan sebab dan akibat. Variabel independennya adalah persentase campuran agregat halus dengan limbah *slag* nikel, sedangkan variabel dependennya adalah daya dukung lapisan pondasi bawah pada konstruksi jalan. Pengukuran daya dukung ini dilakukan dengan uji *California Bearing Ratio* (CBR) dalam kondisi kering.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konstruksi Perkerasan Jalan Lentur

2.1.1 Definisi

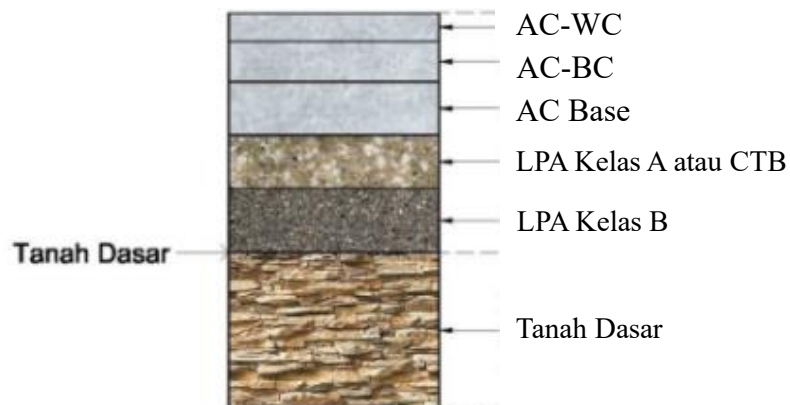
Perkerasan lentur adalah jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Perkerasan ini bersifat lentur dengan struktur berlapis-lapis yang mengikuti konsep Sistem Elastis Multilapis, di mana material berkualitas lebih baik ditempatkan pada atau dekat lapisan permukaan. (Sukirman, 1992) Perencanaan perkerasan lentur jalan dilakukan dengan membangun beberapa lapisan yang terdiri dari lapisan pondasi bawah (*Sub Base Course*), pondasi atas (*Base Course*), dan lapisan permukaan (*Surface Course*), yang semuanya diletakkan di atas tanah dasar (*Sub Grade*) yang sudah dipadatkan. Menurut Sukirman (1992), terdapat tiga jenis konstruksi perkerasan jalan beserta bahan pengikat yang digunakan :

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavements*), perkerasan dengan menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavements*), adalah perkerasan jalan yang menggunakan semen Portland sebagai bahan pengikat untuk pelat beton, yang dapat dilengkapi dengan atau tanpa tulangan, dan diletakkan di atas tanah dasar baik dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavements*), kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku yang dapat berupa perkerasan kaku di atas perkerasan lentur ataupun sebaliknya.

Susunan perkerasan jalan yang digunakan pada umumnya terdiri dari 5 (lima) lapisan diatas tanah dasar (*sub grade*) seperti pada gambar dibawah ini yaitu:

1. AC-WC (*Asphalt Cocrete – Wearing Course*) adalah Lapisan teratas yang bersentuhan langsung dengan kendaraan. Fungsinya untuk melindungi lapisan di bawahnya dari kerusakan akibat lalu lintas dan cuaca, serta memberikan kenyamanan berkendara.

2. AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*) Lapisan di bawah AC-WC. Berfungsi sebagai lapisan penahan tegangan dan penyebar beban lalu lintas.
3. AC-Base (*Asphalt Concrete – Base*) Lapisan di bawah AC- BC Lapisan di bawah AC-BC. Berfungsi sebagai pondasi struktural utama yang menahan dan mendistribusikan beban ke lapisan di bawahnya.
4. LPA Kelas A atau CTB (*Lapis Pondasi Agregat Kelas A atau Cement Treated Base*) adalah lapisan pondasi yang terbuat dari agregat alam atau buatan dengan kualitas tinggi dan dipadatkan. Fungsinya adalah menopang beban dari lapisan di atasnya dan menyebarkan secara merata ke lapisan di bawahnya. Sebagai alternatif, dapat digunakan CTB yang merupakan campuran agregat, semen, dan air yang dipadatkan, memberikan kekuatan struktural yang lebih tinggi.
5. LPB Kelas B (*Lapis Pondasi Agregat Kelas B*) Lapisan pondasi di bawah LFA Kelas A. Materialnya memiliki kualitas yang lebih rendah dibandingkan LFA Kelas A. Fungsinya adalah sebagai lapisan perata dan penopang untuk lapisan di atasnya, serta melindungi tanah dasar dari kerusakan akibat beban.
6. Tanah Dasar adalah Lapisan paling bawah yang merupakan tanah asli atau timbunan yang dipadatkan. Lapisan ini menanggung seluruh beban dari lapisan-lapisan di atasnya.



Gambar 2.1 Desain Perkerasan Lentur

Sumber: Bina Marga, 2024

2.1.2 Fungsi

Untuk Fungsi konstruksi perkerasan lentur sendiri terdiri atas :

1. Lapis permukaan (*surface course*), berfungsi Lapis permukaan merupakan lapisan teratas dari perkerasan jalan yang berfungsi menahan beban vertikal dari kendaraan sehingga harus memiliki kestabilan yang tinggi selama masa pakai. Selain itu, lapisan ini juga bertindak sebagai lapisan aus yang menerima gesekan dan getaran dari roda saat kendaraan melakukan pengereman. Lapis permukaan juga harus kedap air untuk mencegah masuknya air hujan ke lapisan bawah yang dapat merusak struktur jalan, serta berperan dalam menyebarkan beban ke lapisan pondasi di bawahnya.
2. Lapis pondasi atas (*base course*), sebagai lapisan yang menyerap air untuk melindungi lapisan pondasi bawah. Selain itu, lapisan ini juga menahan beban dari roda kendaraan, menjadi dasar memikul bagi lapisan permukaan, serta meneruskan beban gaya lalu lintas ke lapisan pondasi yang berada di bawahnya.
3. Lapis pondasi bawah (*sub base course*), sebagai lapisan pondasi bawah memiliki beberapa fungsi penting. Fungsi utamanya adalah mendukung dan menyebarkan beban kendaraan ke lapisan tanah dasar. Karena itu, lapisan ini harus memiliki stabilitas yang baik, dengan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) minimum 20% dan Indeks Plastisitas tidak lebih dari 10%. Selain itu, lapisan ini juga berperan sebagai lapis peresap untuk mencegah air tanah berkumpul di pondasi dan sebagai lapis *filler* untuk menghambat partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan pondasi. Dari segi efisiensi, penggunaan material yang lebih murah pada lapis pondasi bawah memungkinkan pengurangan ketebalan lapisan di atasnya. Selain itu, lapisan ini juga berfungsi sebagai pelindung pertama yang menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca dan daya dukung yang rendah, sehingga mempermudah proses pelaksanaan konstruksi. (Arthono & Permana, 2022)

2.2 Lapis Pondasi Bawah

Lapisan pada sistem perkerasan yang terletak dibawah lapis pondasi dan di atas tanah dasar yang berfungsi menyebarkan tegangan dari lapis pondasi (atas) ke tanah dasar (Badan Standardisasi Nasional, 2015).

Lapisan pondasi bawah atau *subbase* merupakan bagian penting dalam menentukan kekuatan dan ketahanan konstruksi jalan. Kinerjanya sangat mempengaruhi daya tahan keseluruhan struktur perkerasan lentur. Kualitas lapisan *subbase* sangat menentukan kekuatan dan stabilitas konstruksi jalan semakin padat dan kuat lapis *subbase*, maka konstruksi jalan akan semakin stabil dan tahan lama (Akbar, 2017).

Dalam lapisan pondasi bawah (*subbase course*), digunakan agregat kelas B. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah atau kerikil yang kuat dan tahan lama, dengan minimal satu sisi pecah. Sementara itu, agregat halus bisa berupa abu batu atau pasir. Campuran agregat, baik kasar maupun halus, harus disatukan. Pencampuran ini dapat dilakukan secara analitis atau grafis. Untuk menghasilkan campuran agregat, setidaknya dibutuhkan dua fraksi, yaitu fraksi kasar dan fraksi halus. Pencampuran harus dilakukan di lokasi pemecah batu atau pabrik pencampuran dengan menggunakan alat mekanis yang telah dikalibrasi agar proporsi bahan tepat dan aliran bahan stabil. Pencampuran di lokasi proyek atau lapangan tidak diperbolehkan untuk menghindari kontaminasi langsung dengan material lain seperti baahan organik atau tanah liat yang dapat menurunkan kualitas lapisan pondasi. Maka dari itu, pastikan lapisan pondasi agregat bebas dari bahan organik, tanah liat menggumpal, dan kotoran lain yang tidak diinginkan. (Said dkk.,2021)

Lapis pondasi, lapis pondasi bawah, dan bahu jalan harus memenuhi ketentuan gradasi (menggunakan pengayakan sesuai SNI ASTM C136-2012) dengan batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Gradasi Agregat Untuk Lapis Pondasi Bawah Dan Bahu Jalan

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos			
		Lapis Pondasi Agregat			
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	Kelas C
2"	50				
1 1/2"	37,5	100	100	100	
1"	25,0	79 - 85	75 - 95	77 - 89	100
3/4"	19,0				
1/2"	12,5				
3/8"	9,50	44 - 58	40 - 75	41 - 66	
No.4"	4,75	29 - 44	30 - 60	26 - 54	40 - 50
No.8"	2,36				
No.10"	2,0	17 - 30	20 - 45	15 - 42	25 - 40
No.40"	0,425	7 - 17	15 - 30	7 - 6	15 - 25
No.200"	0,075	0 - 5	5 - 15	4 - 16	8 - 14

Sumber: Bina Marga, 2025

2.3 Agregat

Menurut Sukirman, (2016) Agregat merupakan komponen utama dalam lapisan perkerasan jalan, dengan kandungan sekitar 90-95% berdasarkan berat atau 75-85% berdasarkan volume. Oleh karena itu, kualitas perkerasan sangat dipengaruhi oleh sifat agregat itu sendiri serta hasil pencampurannya dengan material lain. Agregat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan ukurannya dibedakan menjadi:

1. Agregat Kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 4 (=4,75 mm)
2. Agregat Halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.4 (=4,75 mm) dan maksimum yang lolos ayakan No. 200 (=0,075 mm)
3. Bahan Pengisi (filler), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No.200 (=0,075 mm)

2.3.1 Daya Tahan Agregat

Menurut Sukirman (2007), daya tahan agregat adalah kemampuan agregat untuk mempertahankan kualitasnya meskipun mengalami proses mekanis dan kimiawi yang dapat menurunkan mutu. Agregat dapat mengalami degradasi yang

ditandai dengan pecahnya butiran akibat gaya mekanis yang terjadi selama pelaksanaan konstruksi jalan, seperti penimbunan, penghamparan, pemadatan, dan beban lalu lintas, serta pengaruh kimiawi seperti kelembapan, suhu tinggi, dan perubahan suhu harian. Ketahanan agregat terhadap beban mekanis diuji melalui metode abrasi dengan menggunakan alat *Los Angeles Machine* (Syamsul Arifin.,dkk).

2.3.2 Sifat Fisik Agregat

Tabel 2.2 Sifat-sifat Lapis Pondasi Agregat dan Lapis Drainase.

Sifat - sifat		Lapis Pondasi Agregat		
		Kelas A	Kelas B	Kelas S
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	100 putaran	0 - 8%	0 - 8%	0 - 8%
	500 putaran	0 - 40%	0 - 40%	0 - 40%
Butiran pecah, tertahan ayakan No.4 (SNI 7619:2012)		95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾
Batas Cair (SNI 1967:2008)		Maks.25	Maks.35	Maks.35
Indeks Plastisitas (SNI 1966:2008)		Maks.6	4 - 10	4 - 15
Hasil kali Indek Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No.200		Maks. 25	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)		0 - 5%	0 - 5%	0 - 5%
CBR Rendaman		min.90%	min.60%	min.50%
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40		maks.2/3	maks.2/3	-

Sumber: Bina Marga, 2025

Catatan :

1. Angka 95/90 berarti bahwa 95% dari agregat kasar memiliki paling tidak satu permukaan pecah, sementara 90% dari agregat tersebut memiliki duaatau lebih permukaan pecah.

2. Angka 55/50 berarti bahwa 55% dari agregat kasar memiliki setidaknya satu permukaan pecah, dan 50% di antaranya memiliki dua atau lebih permukaan pecah.
3. Angka 80/75 berarti bahwa 80% dari agregat kasar memiliki setidaknya satu permukaan pecah, dan 75% memiliki dua atau lebih permukaan pecah.

2.4 **Slag Nikel**

Slag nikel adalah produk sampingan dari proses peleburan bijih nikel. Pada awalnya, *slag* ini berbentuk cairan yang kemudian mengeras menjadi slag padat atau berpori akibat pendinginan. *Slag* nikel terbagi menjadi tiga kategori: *slag* kategori tinggi yang diperoleh dari proses pemurnian di converter, berbentuk pasir halus dan berwarna coklat, serta kategori sedang dan rendah yang berasal dari tungku pembakaran (*furnace*). Secara umum, komposisinya terdiri dari sekitar 40% silikon, 30% besi, dan 2,5% aluminium oksida. (Mustika dkk., 2016)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pemerintah telah mereklasifikasi sembilan jenis limbah dari kategori Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) menjadi limbah *non*-B3 terdaftar. Perubahan ini mencakup beberapa material, yaitu *slag* besi atau baja, *slag* nikel, *mill scale*, debu *Electric Arc Furnace* (EAF), *PS ball*, *fly ash*, *bottom ash*, *spent bleaching earth*, dan pasir *foundry*. Walaupun statusnya telah berubah dari kategori B3. Hal ini memungkinkan pemanfaatan limbah tersebut dalam tujuan tertentu, seperti bahan baku industri atau material konstruksi, namun harus tetap mengedepankan aspek perlindungan lingkungan. Untuk mengonversi status limbah B3 menjadi limbah *non*-B3 terdaftar sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, limbah harus melewati proses ketat dalam persyaratan. Syarat utamanya adalah lolos uji karakteristik di laboratorium terakreditasi untuk memastikan limbah tersebut tidak lagi memiliki sifat-sifat berbahaya seperti mudah meledak, mudah menyala, reaktif, infeksius, korosif, atau beracun. Meskipun statusnya telah berubah, pengelolaan dan pemanfaatannya, misalnya untuk bahan baku industri atau material konstruksi, tetap harus diatur secara ketat sesuai Peraturan untuk memastikan perlindungan lingkungan tetap terlestarikan.

Potensi menggunakan slag nikel sebagai bahan campuran material perkerasan jalan terbukti pada nilai Kepadatan Kering Maksimum dan *California Bearing Ratio* (CBR) yang semakin meningkat di setiap variasinya. (Rifanni., dkk)

Peningkatan pemanfaatan slag nikel memiliki manfaat. Pertama, penggunaan material ini dapat mengurangi kebutuhan terhadap agregat alami, seperti batu pecah dan pasir, yang biasa difungsikan sebagai landasan jalan, campuran beton, atau semen. Kedua, pemanfaatan slag nikel membantu meminimalisasi penumpukan limbah slag dan mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dimasa yang akan datang. (Hernandi Albeto, 2017).

2.5 Pemadatan

Pemadatan (*compaction*) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara dan tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah.

Pemadatan bertujuan untuk meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan beban. Dengan memadatkan tanah, penurunan akibat beban di atasnya menjadi lebih kecil. Proses ini juga mengurangi penetrasi air ke dalam tanah serta mengurangi jumlah air yang tersimpan di dalamnya. Akibatnya, tanah yang bersifat plastis menjadi lebih stabil karena pengembangan dan penyusutannya berkurang.

Pemadatan di Laboratorium Pemadatan ini digunakan untuk mencari hubungan antara berat volume tanah kering (kepadatan) dan kadar air (*w*). Proses pemadatan ini terdiri dari 2 pengujian, yaitu dengan *Standar Proctor* dan *Modified Proctor* (Safrina dkk., 2023).

Metode mekanis untuk memadatkan tanah bermacam-macam, di lapangan biasanya menggunakan cara penggilasan, sedangkan di laboratorium umumnya dilakukan dengan cara penumbukan. Kepadatan tanah yang dicapai untuk usaha pemadatan tertentu sangat bergantung pada jumlah kadar air dalam tanah tersebut. Kepadatan tanah yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh kadar air tanah tersebut. Kepadatan biasanya diukur dari berat isi kering tanah (γ_d). Saat tanah dipadatkan dengan energi yang sama tetapi kadar air berbeda-beda, akan ada kadar air tertentu

di mana berat isi kering mencapai nilai maksimum (γ_d). Kadar air pada titik tersebut disebut kadar air optimum (γ_w). (Asnur dkk., 2024)

2.6 CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian California Bearing Ratio (CBR) dikembangkan oleh Divisi Jalan Raya California dan kini menjadi metode umum dalam desain rekayasa perkerasan. Nilai CBR tanah dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti gradasi, jenis mineral, pemadatan, kepadatan, dan sifat geser tanah. CBR merupakan sifat mekanis penting tanah yang digunakan untuk menentukan desain struktur perkerasan, khususnya ketebalan lapisan yang diperlukan. Uji CBR biasanya dilakukan dalam dua kondisi, yaitu dengan dan tanpa perendaman. Sampel tanah yang direndam selama 96 jam meniru kondisi lapangan paling buruk dan membantu mengukur potensi pengembangan tanah, sementara uji tanpa rendaman digunakan untuk menilai kekuatan tanah di kondisi normal.

Uji CBR merupakan metode laboratorium yang paling umum digunakan untuk menilai kualitas struktur tanah, meskipun prosesnya memakan waktu cukup lama. Berdasarkan pernyataan Timani dan Jain (2019), nilai CBR secara luas diterima sebagai indikator kinerja perkerasan lentur, yang mencerminkan potensi kekuatan tanah dasar. Nilai ini dipengaruhi oleh parameter seperti gradasi tanah, jenis mineral, pemadatan, kepadatan, dan sifat geser tanah.

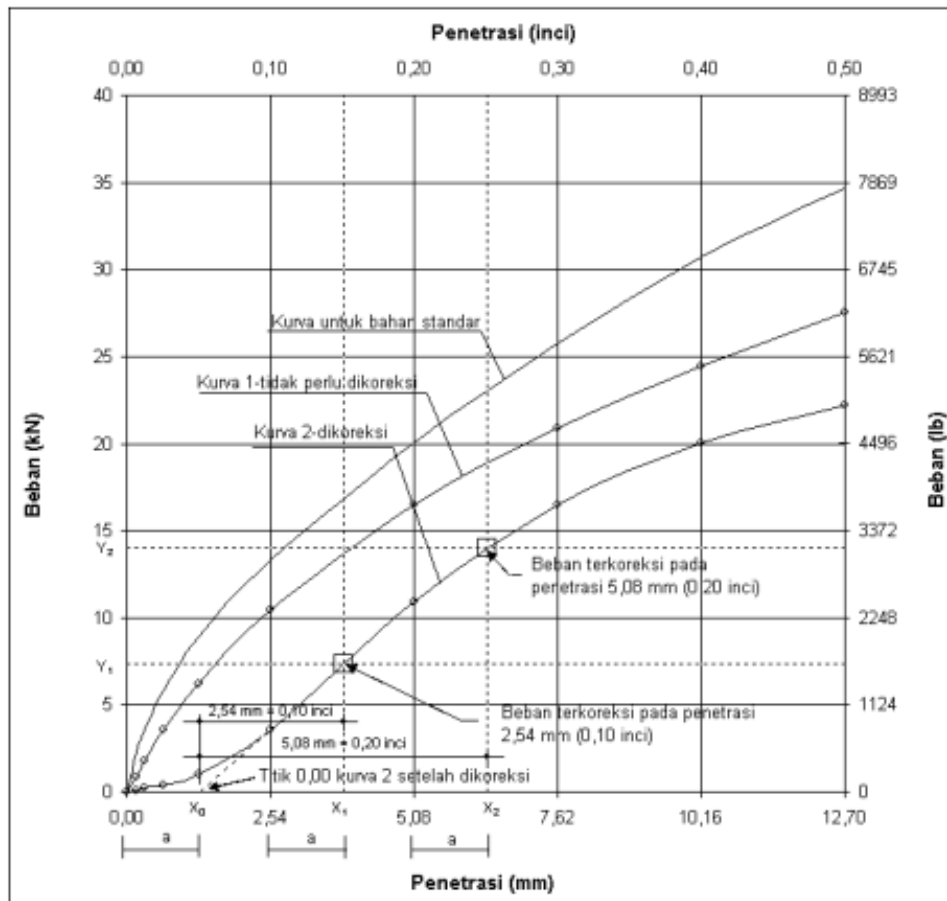
Pengujian CBR laboratorium dilakukan untuk mengukur perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan dengan beban standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Pengujian ini dilakukan pada sampel tanah, agregat, atau campuran tanah dan agregat yang dipadatkan di laboratorium dengan kadar air tertentu sesuai standar. Uji CBR digunakan untuk menilai potensi kekuatan material lapisan tanah dasar, pondasi bawah, serta material daur ulang yang digunakan dalam perkerasan jalan dan lapangan terbang. Pengujian dilakukan pada beberapa sampel uji dengan variasi kadar air pemadatan dan densitas kering yang ingin dicapai. Secara umum, prosedur pengujian ini mencakup beberapa tahapan sesuai standar yang berlaku. (Sulistiawati dkk., 2024)

Tahapan pengujian CBR laboratorium secara umum meliputi persiapan peralatan, pengambilan sampel material dan contoh uji, proses pemadatan, pengukuran massa basah dan kadar air pada contoh uji, perendaman sampel, pengujian penetrasi, pembuatan grafik hubungan antara beban dan penetrasi, serta penentuan nilai CBR. Nilai CBR desain juga bisa diperoleh dari pengujian ini dengan menggunakan grafik hubungan antara nilai CBR dan densitas kering dari setiap contoh uji. (SNI 1744, 2012)

Nilai CBR menjadi perbandingan antara beban uji yang diterima suatu material dengan beban standar yang digunakan sebagai acuan, dan dinyatakan dalam bentuk persentase. Nilai ini menunjukkan kualitas tanah dasar dengan membandingkannya terhadap batu pecah standar yang memiliki nilai CBR sebesar 100%. Beban uji yang digunakan dalam pengujian CBR adalah beban pada saat penetrasi sebesar 0,1 inci dan 0,2 inci. (Junaidi, 2022)

Harga CBR dapat dihitung dengan membagi beban standar CBR pada penetrasi 0,1” atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/cm² atau 1000 psi dan penetrasi 0,2” atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/cm² atau 1500 psi kemudian harga ini dikalikan dengan 100%.

1. CBR dengan beban normal 70,31 kg/cm² atau 1000 psi pada penetrasi 0,1”
atau
2,54 mm $CBR_{0,1''} = \frac{P_1}{3} + 1000 * 100\% \dots\dots\dots (2.1)$
2. CBR dengan beban standar 105,47 kg/cm² atau 1500 psi pada penetrasi 0,2”
atau
5,08 mm $CBR_{0,2''} = \frac{P_1}{3} + 1500 * 100\% \dots\dots\dots (2.2)$



Gambar 2.2 Kurva Hubungan Antara Beban Dan Penetrasi.

Sumber: (SNI 1744:2012)

Tabel 2.3 Korelasi Data CBR Terhadap Klasifikasi Tanah.

Nilai CBR	Kategori	Penggunaan	Klasifikasi	
			USCS	AASHTO
0-3	Sangat buruk	<i>Subgrade</i>	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Buruk sampai sedang	<i>Subgrade</i>	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Sedang	<i>Subgrade</i>	OL, CL, ML	A2, A4, A5, A7
20-50	Baik	<i>Base Subgrade</i>	<i>Gravel</i>	A1, A2-5, A2-6
> 50	Sangat baik	<i>Base</i>	Gravel	A1, A2, A3

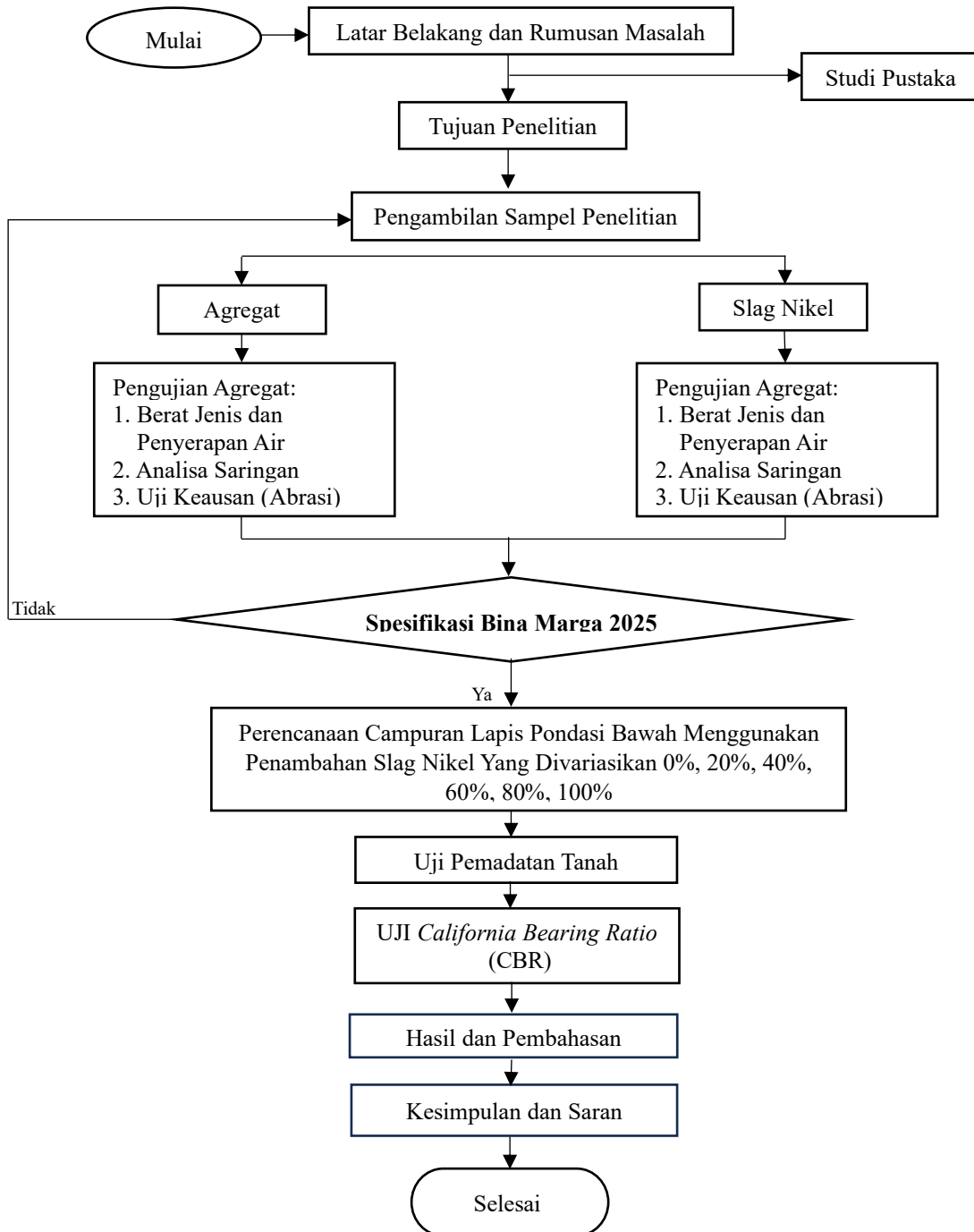
Sumber: Bowles, 1992

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Alur Penelitian

Bagan ini digunakan sebagai panduan bagi peneliti dalam melakukan penelitian, dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Mempersiapkan berbagai tahapan yang harus dijalankan sebelum memulai penelitian untuk menjamin ketepatan hasil. Tahapan ini meliputi kajian pustaka, *survey* lokasi pengambilan sampel, persiapan alat uji, persiapan spesimen, serta pelaksanaan pengujian di laboratorium. Proses ini diakhiri dengan analisis data yang komprehensif.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini mengumpulkan data melalui percobaan laboratorium dengan menyiapkan sejumlah benda uji yang dianalisis menggunakan metode tertentu guna menjamin keakuratan data. Berbagai langkah khusus diterapkan agar hasil penelitian dapat memberikan manfaat yang optimal.

3.4 Pengambilan Material

Sebelum menguji sampel di laboratorium, terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan atau sampel yang akan digunakan dalam pengujian. Dalam penelitian ini, material utama yang digunakan terdiri dari agregat halus konvensional (batu pecah) dan limbah *slag* nikel sebagai material substitusi.

3.4.1 Lokasi Pengambilan Limbah *Slag* Nikel

Lokasi pengambilan bahan-bahan yang akan digunakan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus limbah *slag* nikel berasal dari pembuangan limbah hasil pengolahan Nikel PT. Indonesia Huabao Industrial Park (IHIP) yang terletak di daerah Topogaro, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Pengambilan Limbah Slag.

(Sumber: Google Earth, 2025)

2. Pengambilan material dilakukan pada titik yang berbeda sehingga memperoleh ukuran butir yang beragam.



Gambar 3.3 Pengambilan Limbah Slag Nikel

3.4.2 Metode Pengambilan Limbah *Slag* Nikel

Material Penelitian diperoleh dari PT. Indonesia Huabao Industrial Park yang berlokasi di Bahodopi, Morowali, Sulawesi Tengah. *Slag*, sebagai produk sampingan dari proses peleburan nikel, awalnya berbentuk cair dengan suhu $\pm 1550^{\circ}\text{C}$ dan dialirkan ke kolam pendingin. Pendinginan dilakukan melalui penyemprotan air bertekanan tinggi serta pendinginan alami oleh udara, menghasilkan *slag* dalam bentuk butiran. Ukuran butiran ini dapat disesuaikan menggunakan mesin pemecah batu. Sampel diambil menggunakan sekop, dengan memilih material dari bagian samping timbunan *Slag* nikel kemudian setiap ukuran butiran disimpan dalam karung terpisah untuk mencegah percampuran. Metode ini diterapkan guna menjaga kualitas serta keseragaman material dalam penelitian.

3.4.3 Lokasi Pengambilan Agregat

Lokasi Pengambilan bahan-bahan yang akan digunakan dalam melakukan pengujian adalah :

1. Material agregat yang digunakan untuk lapis pondasi bawah diperoleh dari fasilitas pengolahan milik PT. Hasal Logam Utama, yang berlokasi di Kelurahan Watusampu, Kecamatan Ulujadi, Kota Palu. Agregat tersebut telah diproses menggunakan mesin pemecah batu (*Stone Crusher*), sehingga

menghasilkan ukuran dan kualitas yang memenuhi standar untuk kebutuhan konstruksi.



Gambar 3.4 Peta Lokasi Pengambilan Agregat

(Sumber: *Google Earth*, 2025)

2. Pengambilan material dilakukan di beberapa area penimbunan (*stockpile*) yang terpisah dimana setiap Lokasi menyimpan agregat dengan variasi ukuran butiran yang berbeda.



Gambar 3.5 Pengambilan Agregat

3.4.4 Metode Pengambilan Agregat

Material konstruksi diperoleh dari PT. Hasal Logam di Kota Palu. Semua material diproses menggunakan mesin pemecah batu (*Stone Crusher*) di Lokasi tersebut. Sampel diambil dari beberapa titik penimbunan (*stockpile*), yang masing-masing berisi agregat dengan beberapa ukuran butiran spesifik. Agregat yang diambil meliputi batu pecah $3/4"$, batu pecah $3/8"$, abu batu, dan pasir. Setiap jenis agregat ditempatkan dalam karung terpisah untuk mencegah percampuran dan mempermudah identifikasi ukuran fraksi serta analisis selanjutnya.

3.5 Pengujian Laboratorium

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Tadulako dengan beberapa jenis pengujian yang dilakukan antara lain, sebagai berikut:

3.5.1 Pengujian Analisa Saringan

Analisis saringan (ayakan) dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butiran agregat halus maupun kasar. Prosesnya melibatkan pengayakan sampel agregat melalui serangkaian saringan dengan ukuran lubang yang bervariasi. Material yang tertahan pada setiap saringan kemudian ditimbang dan dihitung persentasenya untuk membuat kurva gradasi, yang sangat penting dalam menentukan kualitas dan stabilitas material sehingga menjamin agregat memenuhi spesifikasi optimal. Berikut adalah daftar peralatan yang diperlukan untuk melaksanakan analisa ini.

1. Satu set saringan : 37,5 mm (1 ½"); 25,0 mm (1"), 9,50 mm (3/8"); 4,75 mm (No.4); 2,0 mm (No.10); 0,425 mm (No.40); 0,075 mm (No. 200); PAN
2. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110) °C
3. Alat pemisah
4. Talam
5. Mesin ayakan saringan
6. Sendok, kuas, sikat kuningan dan alat-alat lainnya
7. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji

Persentase berat sampel yang lolos dan tertahan pada setiap saringan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Persen Tertahan} = \frac{\text{Berat Kumulatif Tertahan}}{\text{Berat Total}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\text{Persen Lolos} = 100\% - \text{Persen Tertahan} \dots\dots\dots(3.2)$$

3.5.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Berat jenis mengacu pada rasio antara berat satuan volume zat dan berat volume air yang setara pada suhu tertentu. Pengujian ini bertujuan untuk menilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, serta angka penyerapan dari agregat kasar dan agregat halus.

1. Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

$$\text{Agregat Kasar : Berat jenis curah (bulk specific gravity)} = \frac{B_K}{B_J - B_A} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\text{Agregat Halus : Berat jenis} = \frac{B_k}{B + 500 - B_t} \dots\dots\dots(3.4)$$

2. Berat jenis kering permukaan jenuh adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

Agregat Kasar : Berat jenis kering permukaan jenuh

$$(\text{saturated surface dry}) = \frac{B_J}{B_J - B_A} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\text{Agregat Halus : Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{500}{B + 500 - B_t} \dots\dots\dots(3.6)$$

3. Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.

$$\text{Berat jenis semu (apparent specific gravity)} = \frac{B_k}{B_k - B_A} \dots\dots\dots(3.7)$$

4. Penyerapan perbandingan berat air yang dapat diserap oleh pori terhadap berat agregat kering dan dinyatakan dalam persen.

$$\text{Penyerapan (absorption)} = \frac{B_J}{B_J - B_K} \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan :

B_k = Berat benda uji kering oven, satuan gram (gr)

B_j = Berat benda uji kering permukaan, satuan gram (gr)

B_a = Berat benda uji di dalam air, satuan gram (gr)

3.5.3 Uji Keausan Menggunakan Mesin Abrasi

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kekerasan agregat atau seberapa besar ketahanannya terhadap proses keausan. Secara lebih spesifik pengujian dilakukan untuk menilai agregat halus berdasarkan tingkat gesekan dan benturan yang terjadi selama proses pengujian, yang kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase. Proses pengujian ini menggunakan mesin abrasi Los Angeles. Nilai keausan diperoleh dengan membandingkan berat agregat yang lolos saringan No. 12 setelah dilakukan pengujian terhadap berat awal material, lalu dinyatakan dalam persen.

$$\text{Keausan} = \frac{\text{Berat Lolos Saringan No.12}}{\text{Berat Benda Uji Semula}} \times 100\% \dots \dots \dots (3.8)$$

3.5.4 Pengujian Pemadatan Tanah

Pengujian pemadatan tanah adalah proses untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan maksimum suatu tanah saat diberi beban pada saat pemadatan. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan tanah memiliki kepadatan yang optimal yang dapat mengurangi risiko penurunan tanah, menentukan kadar air optimum hingga titik efektif sehingga mampu menopang beban struktur di atasnya serta mengurangi risiko penurunan tanah. Berikut adalah daftar peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian ini:

1. *Modified Proctor Mold* (*Mold* / cetakan)
2. *Modified Proctor Hammer* (Alat Penumbuk)
3. *Modified Proctor Mold*
4. *Extruder Mold* (Alat pengeluar sampel)
5. *Tin Box* (Cawan)
6. Talang
7. Pisau Pemotong
8. Alat Saringan
9. Saringan
10. Oven Pengering

3.5.5 Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) dapat mengukur kekuatan tanah serta mengukur efektivitas perbaikan tanah yang dicampurkan penambahan bahan stabilisasi material contohnya seperti *Slag* Nikel atau pemadatan. Prinsip kerjanya dengan menekan sebuah piston ke dalam sampel tanah yang telah dipadatkan dan membandingkan gaya yang diperlukan untuk mencapai penetrasi tertentu sehingga dengan nilai CBR dapat mengevaluasi kestabilan tanah dasar. Berikut adalah daftar peralatan yang digunakan dalam pengujian ini:

1. Cetakan Silinder
2. Keping Pemisah
3. Alat Penumbuk
4. Alat Pengukur Pengembangan
5. Arloji Ukur
6. Keping Beban
7. Piston Penetrasi
8. Peralatan Pembebanan
9. Bak Perendam
10. Oven Pengering
11. Cawan
12. Peralatan bantu lainnya

3.6 Rancangan Campuran

Perencanaan campuran bertujuan untuk menentukan proporsi optimal antara limbah *slag* nikel dan agregat halus konvensional yang menghasilkan campuran lapis pondasi bawah dengan nilai CBR yang memenuhi syarat.

Menganalisis bagaimana perubahan presentase penggunaan limbah *slag* nikel sehingga dapat memanfaatkan limbah *slag* nikel sebagai bahan konstruksi yang bernilai tambah, sekaligus meningkatkan kualitas dan keberlanjutan konstruksi jalan. Dengan melakukan penelitian yang komprehensif, diharapkan dapat memperoleh data yang akurat dan dapat diandalkan.

Proses perancangan campuran agregat adalah upaya untuk menemukan formula yang tepat dalam menggabungkan berbagai jenis agregat sehingga

menghasilkan material konstruksi yang berkualitas dan memenuhi standar yang berlaku.

Tabel 3.1 Rancangan Campuran Gradasi Ideal

Saringan No.	Bukaan (mm)	Spesifikasi Gradasi		Gradasi Ideal		
		Max	Min	% Lolos	% Tertahan	Berat Tertahan (gr)
1 1/2"	37.50	100	100	100	0	-
1"	25.00	95	75	85	15	750
3/8"	9.50	75	40	57.5	27.5	1,375
# 4	4.75	60	30	45	12.5	625
# 10	2.00	45	20	32.5	12.5	625
# 40	0.425	30	15	22.5	10	500
# 200	0.075	15	5	10	12.5	625
PAN	-	-	-	-	10	500
				100.00	100	5,000

3.6.1 Komposisi Campuran

Komposisi campuran bertujuan untuk menemukan perbandingan yang pas antara berbagai ukuran variasi agregat, dengan menggunakan berbagai variasi agregat sehingga mendapatkan campuran ideal Dimana butiran-butiran saling mengunci dengan kuat. Dengan memastikan campuran yang dibuat sesuai dengan aturan yang sudah ditetapkan, sehingga menghasilkan penelitian yang berkualitas.

Proses ini bertujuan merumuskan komposisi agregat yang optimal sesuai dengan persyaratan gradasi, sehingga menghasilkan campuran yang memiliki kekuatan *interlock* antar partikel yang cukup untuk digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan. Penentuan proporsi agregat dilakukan dengan metode coba-coba atau *trial and error*. Metode coba-coba ini biasanya dilakukan di laboratorium dengan menguji berbagai kombinasi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengikat untuk mendapatkan campuran yang memenuhi persyaratan teknis seperti gradasi, kepadatan. di mana berbagai kombinasi proporsi diuji untuk menemukan kombinasi terbaik yang memenuhi standar. Metode ini melibatkan pengujian secara berulang untuk memastikan campuran yang paling stabil dan kuat.

Spesifikasi Teknik yang sudah ditetapkan berfungsi untuk menjaga kualitas agar dapat berfungsi dengan baik dan tahan lama.

Tabel 3.2 Komposisi Rancangan Substitusi Slag Nikel

Saringan No	Berat Tertahan (gr)	% dari 1750	Persentase <i>Slag</i> Nikel				
			20%	40%	60%	80%	100%
#4	-	-	-	-	-	-	-
#10	625	35,7	125	250	375	500	625
#40	500	28,6	100	200	300	400	500
#200	625	35,7	125	250	375	500	625
Total	1750	100	350	700	1050	1400	1750

Keterangan:

1. Total berat agregat halus 1750 gr

3.6.2 Jumlah Benda Uji

Dalam pendekatan analisis data ini ada 2 tahap pelaksanaan, yaitu :

1. Pada tahap ini, dilakukan serangkaian pengujian terhadap campuran *subbase* dengan variasi persentase limbah *slag* nikel sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%.

Tabel 3.3 Sampel Pemadatan Untuk Mencari Kadar Air Optimum

Variasi Kadar <i>Slag</i> Nikel	Pemadatan	Jumlah Sampel
0%	1 set	5 sampel
20%	1 set	5 sampel
40%	1 set	5 sampel
60%	1 set	5 sampel
80%	1 set	5 sampel
100%	1 set	5 sampel
Total Sampel		30 Sampel

Pada Tabel 3.3 merinci secara detail skema pengujian sampel untuk mencari Kadar Air Optimum. Untuk setiap variasi kadar *slag* nikel (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%), setiap pengujian terdiri dari 1 set pemadatan untuk memastikan konsistensi hasil. Selain itu, pada tabel 3.4, untuk setiap variasi disiapkan 2 sampel khusus untuk pengujian *unsoaked* CBR (*California Bearing Ratio*), yang merupakan parameter penting untuk menilai kekuatan dan daya dukung material *subbase* dalam kondisi tanpa rendaman. Total sampel yang diuji untuk setiap variasi

kadar *slag* nikel adalah 7 sampel. Dengan 6 variasi yang berbeda, total keseluruhan sampel yang diuji dalam penelitian ini mencapai 42 sampel, yang menjamin data yang diperoleh cukup representatif untuk analisis dan penarikan kesimpulan yang valid.

Tabel 3.4 Sampel pengujian CBR

Variasi Kadar <i>Slag</i> Nikel	CBR
0%	2 sampel
20%	2 sampel
40%	2 sampel
60%	2 sampel
80%	2 sampel
100%	2 sampel
Total Sampel	12 Sampel

- Selanjutnya hasil pengujian akan dibandingkan untuk mengevaluasi pengaruh variasi presentase limbah *slag* nikel terhadap nilai CBR (*California Bearing Ratio*).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Agregat

Pengujian agregat, baik kasar maupun halus, serta *slag* nikel dilaksanakan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Kota Palu. Agregat bersumber dari PT. Hasal Logam Watusampu, Kota Palu, sementara *slag* nikel diperoleh dari PT. Indonesia Huabao Industrial Park yang berlokasi di Morowali, Sulawesi Tengah. Semua pengujian ini dilakukan sesuai dengan standar teknis yang berlaku.



Gambar 4.1 Tipikal Bentuk *Slag* Nikel dan Agregat Halus

4.1.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan

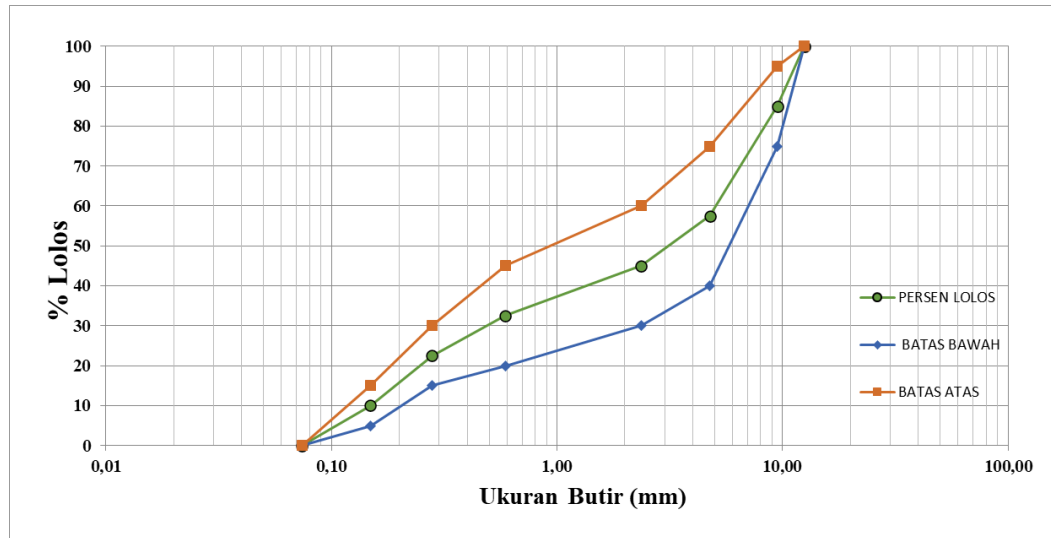
Sesuai dengan prosedur yang ditetapkan dalam SNI ASTM C136-2012 serta Spesifikasi Bina Marga 2025 Revisi 2, pengujian analisa saringan telah dilakukan. Data hasil dari pengujian tersebut secara rinci dapat diamati pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan

Saringan No	Bukaan	Spesifikasi		% Lolos	% Tertahan	Berat Tertahan (gr)
		Max	Min			
1 1/2	12.5	100	100	100	0	0
1	9.5	95	75	85	15.0	750
3/8	4.76	75	40	57.5	27.5	1375
4	2.36	60	30	45	12.5	625
10	0.59	45	20	32.5	12.5	625
40	0.279	30	15	22.5	10.0	500
200	0.149	15	5	10	12.5	625
PAN	0.074	-	-	-	10.0	500
				Total	100.0	5000

Keterangan :

Hasil Pengujian terlampir pada **Lampiran 1**



Gambar 4.2 Grafik Pengujian Analisa Saringan

4.1.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat dan *Slag* Nikel

Karakteristik agregat, termasuk berat jenis dan penyerapan air, telah diuji secara komprehensif sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian ini mengacu pada SNI 1969:2016 untuk agregat kasar dan SNI 1970:2016 untuk agregat halus, serta Spesifikasi Bina Marga 2025. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Alam

Fraksi	Pengujian	Hasil Pengujian	Speksifikasi	Satuan	Keterangan
Agregat Kasar	Berat Jenis				
	a. Bj. Bulk	2.790	> 2,5		Memenuhi
	b. Bj. SSD	2.810	> 2,5	-	
	c. Bj. Apperent	2.846	> 2,5		
	Penyerapan Agregat	0.717	< 3	%	
Agregat Halus	Berat Jenis				
	a. Bj. Bulk	2.678	> 2,5		Memenuhi
	b. Bj. SSD	2.713	> 2,5	-	
	c. Bj. Apperent	2.774	> 2,5		
	Penyerapan Agregat	1.285	< 3	%	

Keterangan :

Hasil Pengujian Agregat Kasar terlampir pada **Lampiran 2**

Hasil Pengujian Agregat Halus terlampir pada **Lampiran 3**

Berdasarkan Tabel 4.2, hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat alam menunjukkan bahwa agregat kasar memiliki berat jenis *bulk* sebesar 2,790, berat

jenis SSD sebesar 2,810, dan berat jenis *apparent* sebesar 2,846. Seluruh nilai tersebut melebihi batas minimal 2,5 sesuai ketentuan spesifikasi teknis, sehingga dinyatakan memenuhi standar yang berlaku. Adapun nilai penyerapan air agregat kasar sebesar 0,717%, yang dimana nilai ini berada jauh di bawah batas maksimum 3%, sehingga juga dinyatakan lolos persyaratan.

Pada agregat halus diperoleh berat jenis *bulk* sebesar 2,678, berat jenis SSD sebesar 2,713, dan berat jenis *apparent* sebesar 2,774. Sama halnya dengan agregat kasar, seluruh nilai berat jenis agregat halus berada di atas batas minimal 2,5, sehingga dapat dikatakan memenuhi standar teknis. Nilai penyerapan air agregat halus adalah 1,285%, yang masih berada di bawah batas maksimum 3%, sehingga agregat halus tersebut juga dinyatakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan *Slag* Nikel

Fraksi	Pengujian	Hasil Pengujian	Spek.	Satuan	Ket
Berat Jenis					
Agregat Halus <i>Slag</i> Nikel	a. Bj. Bulk	2.899	> 2,5	-	Memenuhi
	b. Bj. SSD	2,922	> 2,5		
	c. Bj. Apperent	2.968	> 2,5		
	Penyerapan Agregat	0,797	< 3	%	

Keterangan :

Hasil Pengujian terlampir pada **Lampiran 4**

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa agregat halus *slag* nikel memiliki nilai berat jenis *bulk* sebesar 2,899, SSD sebesar 2,922, dan *apparent* sebesar 2,968, disertai penyerapan air hanya 0,797%. Nilai penyerapan air agregat halus *slag* nikel diperoleh sebesar 0,797%, yang jauh berada di bawah batas maksimum 3%. Hal ini menunjukkan bahwa *slag* nikel memiliki porositas rendah dan kemampuan menyerap air yang kecil, sehingga berpotensi memberikan kinerja yang baik dalam campuran perkerasan jalan.

Secara keseluruhan, agregat alam dan *slag* nikel ini memenuhi spesifikasi teknis dari segi berat jenis dan penyerapan air. Namun, *slag* nikel menunjukkan nilai berat jenis yang lebih tinggi dan penyerapan yang lebih rendah dibanding agregat alam.

4.1.3 Abrasi Agregat dan *Slag* Nikel

Metode pengujian abrasi pada penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan mesin Los Angeles, mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 2417:2008 serta merujuk pada ketentuan Spesifikasi Bina Marga 2025.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Abrasi Agregat dan *Slag* Nikel

Jenis Pengujian	Hasil	Spek.	Satuan	Ket
Abrasi Agregat	19,87	< 40	%	Memenuhi
Abrasi <i>Slag</i> Nikel	19,27	< 40	%	Memenuhi

Keterangan :

Hasil Pengujian Agregat terlampir pada **Lampiran 5**

Hasil Pengujian *Slag* nikel terlampir pada **Lampiran 6**

Tabel 4.4 menampilkan hasil pengujian abrasi untuk dua jenis material, yaitu agregat alami dan *slag* nikel. Nilai abrasi agregat alami didapatkan sebesar 19,87% dan nilai abrasi *slag* nikel sebesar 19,27%, kedua jenis material tersebut berada jauh di bawah batas spesifikasi maksimum yang disyaratkan yaitu < 40%. Hal ini berarti kedua material memiliki tingkat ketahanan aus yang baik dan memenuhi persyaratan standar. Secara sederhana semakin kecil nilai persentase abrasi, semakin tinggi ketahanan material terhadap gesekan dan benturan.

4.2 Uji Pemadatan (*Modified Proctor*)

Dalam penelitian ini, metode pemadatan yang digunakan untuk pengujian CBR adalah *Modified Proctor*. Penggunaan metode ini diharapkan dapat merepresentasikan energi pemadatan aktual di lapangan, khususnya untuk konstruksi perkerasan jalan. Pada prosedur *Modified Proctor*, material yang lolos saringan 4,75 mm yang digunakan sebagai agregat halus. Oleh karena itu, material yang lolos saringan 4,75 mm (4”) akan ditambahkan ke dalam agregat yang halus dalam komposisi campuran.

Variasi kepadatan kering dengan kadar air dalam pemadatan campuran dapat dilihat pada Tabel 4.5. Kepadatan Kering maksimum mengalami peningkatan seiring penambahan presentase agregat halus *slag* nikel hingga 100% dengan kepadatan kering maksimum meningkat dari 2,20 gr/cm³ hingga 2,28 gr/cm³ dan

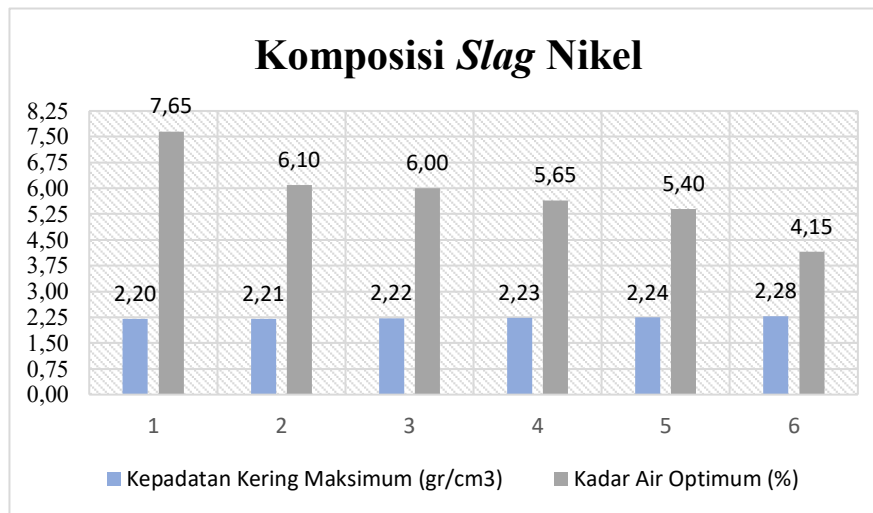
kadar airnya menurun dari 7,65% ke 4,15% dikarenakan dominasi komposisi agregat halus *slag* nikel dengan bertambahnya presentase agregat halus *slag* nikel yang hanya memiliki penyerapan 0,797 % jika dibandingkan dengan agregat halus alam PT.Hasal Logam sebesar 1,285 %.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Pemadatan (*Modified Proctor*)

Kode Sampel	Agregat Halus <i>Slag</i> Nikel	Kepadatan Kering (γ_{maks})	Kadar Air (w)
		gr/cm ³	%
MP 1	0%	2,20	7,65
MP 2	20%	2,21	6,10
MP 3	40%	2,22	6,00
MP 4	60%	2,23	5,65
MP 5	80%	2,24	5,40
MP 6	100%	2,28	4,15

Keterangan :

Hasil Pengujian terlampir pada **Lampiran 7-8**



Gambar 4.3 Nilai Kadar Air Optimum dan Kepadatan Kering Maksimum

Dari pengujian pemadatan didapatkan kepadatan kering maksimum (MDD) dan kadar air optimum (KAO) pada masing-masing variasi yang dapat dilihat pada gambar 4.3. Pada variasi 0% *slag* nikel, didapatkan kepadatan kering maksimum yaitu 2,20 gr/cm³ dengan kadar air optimum yaitu 7,65%. Sedangkan pada variasi 100% *slag* nikel didapatkan kepadatan kering maksimum mencapai 2,28 gr/cm³ dengan kadar air optimum 4,15%. Seiring dengan peningkatan Kepadatan kering maksimum (MDD), grafik ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase

substitusi *slag* nikel secara konsisten berkorelasi dengan penurunan kadar air optimum (KAO). Nilai Maksimum didapatkan melalui analisis grafik (kurva Pemadatan). Dimana Titik puncak kurva tersebut berada diantara pada titik 3 dan 4 pada tabel 4.6.

Penurunan kadar air optimum pada pengujian yang sama disebabkan oleh penambahan variasi *slag* nikel dalam campuran sampel. Slag nikel memiliki daya serap air yang rendah karena strukturnya yang lebih padat dengan sedikit pori. Sebaliknya, agregat alam memiliki banyak pori-pori, yang membuatnya mampu menyerap air lebih banyak. Oleh karena itu, semakin banyak *slag* nikel yang digunakan dalam campuran, semakin sedikit air yang dibutuhkan untuk mencapai kepadatan maksimum, yang berujung pada penurunan kadar air optimum.

Terlihat bahwa pada kondisi Kadar Air Optimum (KAO) tertinggi, Kepadatan Kering Maksimum (MDD) dengan kondisi menurun. Kondisi ini mewakili sampel yang memiliki persentase campuran agregat konvensional murni yaitu pada sampel 0% di mana material membutuhkan lebih banyak air untuk mencapai kepadatan maksimumnya.

Penambahan *slag* nikel mengurangi kebutuhan air untuk pemadatan, partikel material dapat tersusun lebih rapat dan mencapai kepadatan yang lebih tinggi dengan kadar air yang lebih rendah. Hal ini diakibatkan oleh sifat *Slag* nikel yang memiliki daya serap yang rendah jika dibandingkan dengan agregat alam, sehingga membutuhkan air lebih sedikit untuk tercapainya kepadatan maksimum.

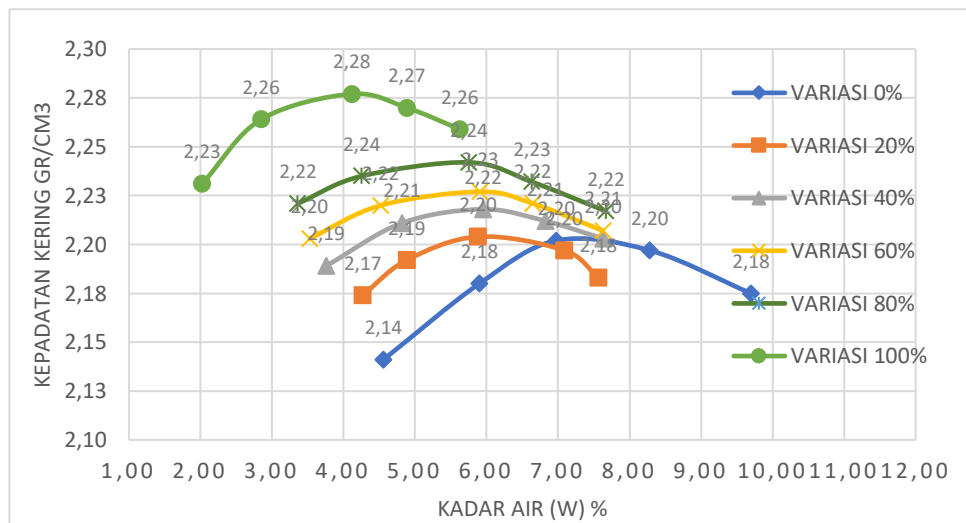
Pada Gambar 4.4, grafik ini berbentuk parabola yang menunjukkan bahwa peningkatan persentase substitusi *slag* nikel secara langsung berkorelasi dengan peningkatan nilai Kepadatan Kering Maksimum (MDD) yang dapat dicapai oleh campuran. Pada agregat alam murni, yang direpresentasikan oleh 0% *slag* nikel, MDD tercatat pada level terendah sekitar 2,20 gr/cm³. Namun, seiring dengan penambahan *slag* nikel hingga mencapai 100%, nilai kepadatan kering maksimum semakin tinggi sekitar 2,28 gr/cm³ dan nilai kadar air optimum semakin berkurang dari 7,65% hingga 4,15%.

Tabel 4.6 Karakteristik Pemadatan Campuran *Slag* Nikel (*Modified Proctor*)

Kode Sampel	Agregat Halus <i>Slag</i> Nikel	Kepadatan Kering (γ_{maks})					Kadar Air (w)				
		gr/cm ³					%				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
MP 1	0%	2,14	2,18	2,20	2,20	2,18	4,56	5,90	6,98	8,28	9,70
MP 2	20%	2,17	2,19	2,20	2,20	2,18	4,27	4,89	5,88	7,09	7,57
MP 3	40%	2,19	2,21	2,22	2,21	2,20	3,76	4,82	5,95	6,82	7,63
MP 4	60%	2,20	2,22	2,23	2,22	2,21	3,53	4,52	5,91	6,65	7,63
MP 5	80%	2,22	2,24	2,24	2,23	2,22	3,36	4,25	5,75	6,64	7,67
MP 6	100%	2,23	2,26	2,28	2,27	2,26	2,02	2,85	4,11	4,88	5,63

Keterangan :

Hasil Pengujian terlampir pada **Lampiran 7-12**



Gambar 4.4 Grafik Karakteristik Pemadatan Campuran *Slag* Nikel

Selain itu, puncak kurva yang bergeser ke kiri seiring bertambahnya kadar *slag* nikel menunjukkan bahwa kadar air optimum menjadi lebih rendah. Material dengan kandungan *slag* nikel yang lebih tinggi cenderung mencapai kepadatan maksimal dengan jumlah air yang lebih sedikit dibandingkan material tanpa *slag*.

4.3 Uji *California Bearing Ratio* (CBR)

Dalam penelitian ini, pengujian CBR dilakukan dengan menggunakan mesin penetrasi CBR statis terhadap campuran agregat halus limbah *slag* nikel yang memanfaatkan limbah *slag* nikel. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi campuran yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Tujuannya adalah untuk

menganalisis hubungan antara variasi persentase substitusi slag nikel terhadap agregat halus pada campuran lapis pondasi bawah dengan nilai CBR yang dihasilkan. Analisis ini juga berperan penting untuk menilai kemampuan slag nikel dalam meningkatkan daya dukung tanah sebagai lapis pondasi bawah.

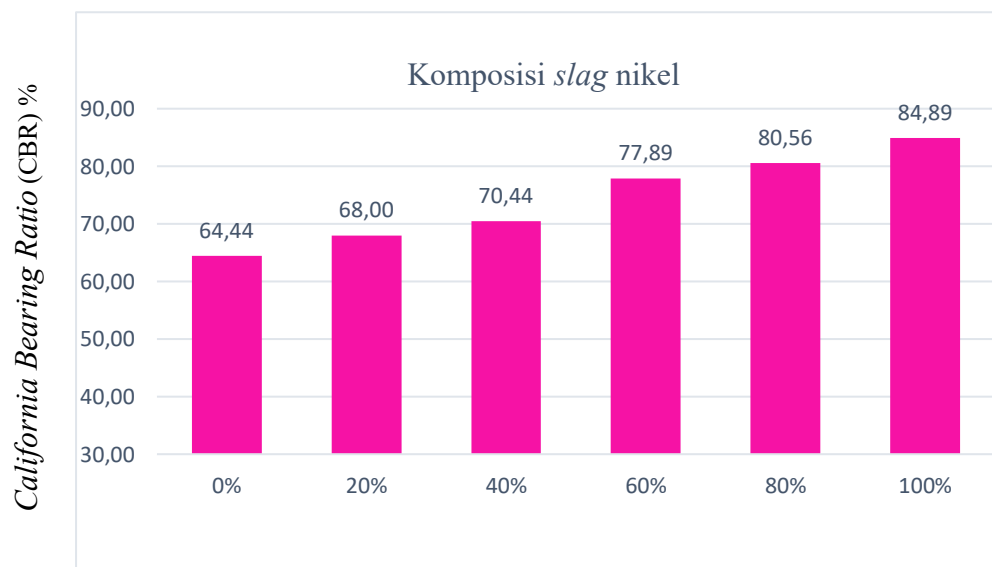
Berdasarkan hasil pengujian CBR pada dua sampel sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.7, diketahui bahwa seluruh campuran memiliki CBR tertinggi berada pada rentang 64,66 hingga 84,11%.

Tabel 4.7 Nilai Rata-rata Uji *California Bearing Ratio (CBR)*

Komposisi Agregat Halus Slag Nikel	Kepadatan Kering Maks (gr/cm ³)	Kadar Air Optimum (%)	Nilai CBR (%)
0%	2.20	7,65	64,44
20%	2,21	6,10	68,00
40%	2.21	6,00	70,44
60%	2,23	5,65	77,89
80%	2,24	5,40	80,56
100%	2,28	4,15	84,89

Keterangan :

Hasil Pengujian terlampir pada **Lampiran 13 - 24**



Gambar 4.4 Grafik Hasil CBR Tertinggi

Hasil uji sampel CBR menghasilkan nilai rata-rata CBR pada tabel 4.7, terlihat bahwa semua campuran menunjukkan nilai CBR tertinggi yang berada dalam rentang 64,44% hingga 84,89%. Dari keseluruhan sampel yang telah diuji,

didapatkan bahwa nilai CBR mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kepadatan kering yang dihasilkan melalui pemadatan menggunakan metode *modified Proctor* pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.5. Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) meningkat seiring dengan bertambahnya persentase penggunaan limbah *slag* nikel sebagai pengganti agregat halus. Peningkatan ini terjadi karena *slag* nikel memiliki daya serap air yang rendah, yaitu sekitar 0,797%. Karakteristik ini membuat material lebih padat, menghasilkan nilai kepadatan kering yang tinggi. Nilai CBR tertinggi diperoleh pada campuran dengan 100% *slag* nikel, yang kemampuannya mencapai kepadatan kering maksimum pada kadar air rendah didukung oleh karakteristik fisik partikel yang padat dan memiliki penyerapan air yang rendah. Hal ini yang menunjukkan bahwa semakin banyak *slag* nikel yang ditambahkan, daya dukung lapis pondasi bawah ikut meningkat, dan kondisi paling optimal terjadi pada campuran sekitar 100%

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data pengujian, dapat disimpulkan beberapa hal penting mengenai pengaruh penggunaan limbah *slag* nikel sebagai pengganti agregat halus dalam campuran lapisan pondasi, diperoleh Kesimpulan sebagai berikut:

Substitusi agregat alam dengan limbah *slag* nikel secara signifikan meningkatkan kepadatan kering maksimum (MDD) dan menurunkan kadar air optimum (KAO). Dengan komposisi *slag* nikel dari 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% nilai γ_{maks} berkisar dari 2,20 gr/cm³, sampai 2,28 gr/cm³ dan kadar air optimum menurun dari 7,65% hingga 4,15%. Peningkatan kepadatan ini berkorelasi langsung dengan kenaikan nilai CBR. Nilai CBR tertinggi pada variasi 100% substitusi *slag* nikel pada penetrasi 0,2” yaitu 84,89% Kondisi ini menunjukkan daya dukung yang sangat baik untuk penggunaan lapis pondasi bawah sesuai yang disyaratkan oleh spesifikasi Bina Marga 2025 yaitu nilai minimum CBR untuk lapis pondasi bawah > 60%.

5.2 Saran

Hasil penelitian yang menunjukkan potensi signifikan limbah *slag* nikel dalam meningkatkan karakteristik material lapis pondasi bawah, berikut adalah beberapa saran yang dapat diajukan:

1. Agar limbah *slag* nikel dipertimbangkan secara serius sebagai material substitusi agregat halus, khususnya pada lapisan pondasi bawah (*subbase*) menggunakan campuran agregat alam batu kali atau batau pecah yang berasal dari Sungai.
2. Penambahan alat uji di laboratorium dan perbaikan maksimal pada beberapa mesin untuk pengujian sampel untuk mempercepat alur kerja pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. J. (2017). Kajian Pengaruh Nilai Cbr Subgrade Terhadap Tebal Perkerasan Jalan Studi Komparasi CBR Kecamatan Nisam Antara, Kecamatan Sawang dan Kecamatan Kuta Makmur. *Teras Jurnal. Jurnal Teknik Sipil*, 3(2), 138. (<https://doi.org/10.29103/tj.v3i2.39>)
- Arthono, A., & Permana, V. A. (2022). Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya Menggunakan Metode Analisa Komponen SNI 1732-1989-F Ruas Jalan Raya Mulya Sari Kecamatan Pamanukan Sampai Kecamatan Binong Kabupaten Subang Propinsi Jawa Barat. *Jurnal Komposit*. 6(1), 41. (<https://doi.org/10.32832/komposit.v6i1.6740>)
- Bina Marga. (2025). *Spesifikasi Umum 2025*.
- Bina Marga. (2024). *Desain Perkerasan Lentur*.
- Asnur, H., Yunita, R., Sari, R. (2024). Hubungan Kepadatan Tanah Terhadap CBR Labor Di Perumahan Eka Jaya Permata II Kota Payakumbuh. *Jurnal Bangunan Konstruksi Dan Desain*, 2(3), 198–208. (<http://jbkd.ft.unand.ac.id>).
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI 6388:2015 *Spesifikasi agregat untuk lapis pondasi , lapis pondasi bawah , dan bahu jalan. (Sni 6388-2015)*.
- Bowles J. Engineering Properties of Soil and Their Measurement. 4th Editio. New York: Megrow-Hill; 1992.
- Darmawan, T. N., Rustamaji, R. M., Bachtiar, V. (2022). Korelasi Nilai CBR Laboratorium dan Nilai CBR Lapangan Dari Uji DCP Tanah Subgrade Pada Pembangunan Ruas Jalan Nanga Pinoh - Ela Hilir - Batas Kalimantan Tengah. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 9(3), 1–6.
- Hernandi Albeto. (2017). Pemanfaatan Slag Nikel Dalam Mendukung Pembangunan Nasional. *Opini*, 28 (November 2017), 21–23.
- Mustika, W., Salain, I. M. A. K., Sudarsana, I. K. (2016). Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Dalam Campuran Beton. *Jurnal Spektran*, 4(2), 36–45.

(<https://doi.org/10.24843/spektran.2016.v04.i02.p05>)

- Junaidi., (2022). Perbandingan Daya Dukung (CBR) Kondisi *Soaked* Dan *Unsoaked* Agregat Kelas B Berdasarkan Variasi Gradasi Lapangan (Studi Kasus : Material Agregat Kelas B di Quarry Pulau Bengkalis). *Seminar Nasional Industri Dan Teknologi (SNIT)*, November, 124–138.
- Raharja, A. R., Setiyono, R., Hariyanti, I. (2024). Perancangan Dan Implementasi California Bearing Ratio (Cbr). *Jurnal Responsif: Riset Sains Dan Informatika*, 6(1), 54–62. (<https://doi.org/10.51977/jti.v6i1.1425>)
- Rifani Wiziarti., Wiwik Rahayu. (2022). Potensi Penggunaan Campuran Slag Nikel dan Fly Ash Sebagai Material Perkerasan Jalan. *Jurnal RAB Construction Reaserch, RACIC* 7(1). (<http://jurnal.univrab.ac.id/index.php/racic>)
- Sukirman, S., (1992). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit Nova, Bandung.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*. Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Sukirman, S., 2007. *Beton Aspal Campuran Panas*. Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Syamsul Arifin., Muh Kasan., Novita Pradani. (2007) Pengaruh Nilai Abrasi Agregat Terhadap Karakteristik Beton Aspal. *Jurnal SMARTek, Vol. 5, No. 1:1-11*.
- Safrina, S., Wiqoyah, Q., & Nuswantoro, D. (2023). Analisis Kepadatan Lapangan Menggunakan Uji Sand Cone Pada Proyek Peningkatan Ruas Jalan Keyongan - Batas Kab. Sragen R.205. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2023 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 355–360.
- SNI 1744. (2012). Metode uji CBR laboratorium Badan Standardisasi Nasional. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–28. (www.bsn.go.id)
- Sulistiawati, B. H., Goro, G. L., Nurhadi, I., Teknik, J., Politeknik, S., Semarang, N., Semarang, K., & Tengah, J. (n.d.). *Analisis Korelasi Nilai California*

Bearing Ratio (Cbr) Dan Nilai Kuat Geser Pada Tanah Lunak.

Said Jalalul Akbar., Burhanuddin., Jufriadi. (2021) Hubungan Nilai CBR dan Sand Cone Lapisan Pondasi Bawah Pada Perkerasan Lentur Jalan. *Teras Jurnal*, Vol, 5, No, 1, Maret 2015.

Wiziarti, R., & Rahayu, W. (2022). Potensi Penggunaan Campuran Slag Nikel Dan Fly Ash Sebagai Material Perkerasan Jalan. *Racic : Rab Construction Research*, 7(1), 55–70. (<https://doi.org/10.36341/racic.v7i1.2462>)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Analisa Saringan

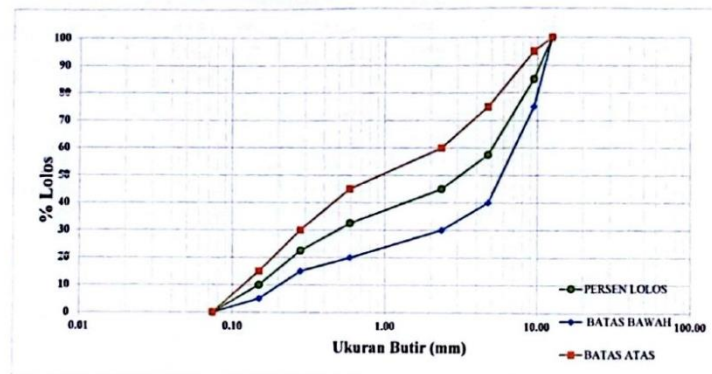


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN : Inayah Nur'azwa Adim / F 111 21 021
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah	DIDITUNG : Inayah Nur'azwa Adim / F 111 21 021
Pekerjaan : Analisa Saringan	DIPERIKSA : Ir. Imran, ST, MT
Contoh : Gradasi Ideal	TANGGAL : 25 Februari 2025

PERCOBAAN ANALISA SARINGAN LABORATORIUM

Saringan No	Bukaan	Spesifikasi		% Lolos	% Tertahan	Berat Tertahan
		Max	Min			
1 1/2	12.5	100	100	100	0	0
1	9.5	95	75	85	15.0	750
3/8	4.76	75	40	57.5	27.5	1375
4	2.36	60	30	45	12.5	625
10	0.59	45	20	32.5	12.5	625
40	0.279	30	15	22.5	10.0	500
200	0.149	15	5	10	12.5	625
PAN	0.074	-	-	-	10.0	500
				Total	100.0	5000



Lampiran 2 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar



UNIVERSITAS TADULAKO
FAKULTAS TEKNIK - JURUSAN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM STRUKTUR & BAHAN BANGUNAN

Kampus Bumi Tadulako Tendo Palu - Telp. (0451) 422611 Psw. 170 email: labstruktur2012@gmail.com

Proyek	: Tugas Akhir	Dikerjakan	: Tim Semangat Baru
Pekerjaan	: Analisa Saringan Agregat Halus	Dihitung	: Tim Semangat Baru
Lokasi	: Lab. Struktur dan Bahan Bangunan Untad	Diperiksa	: Firhansyah S. S.T
Sampel	: Pemeriksaan Agregat	Tanggal	: 28 Juli 2025

BERAT JENIS & PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR

SNI 03-1969-1990 (ASTM C 127-01)

JENIS MATERIAL : AGREGAT KASAR

Uraian Pemeriksaan			No. Sampel		Ket.
			I	II	
Berat contoh kering oven	Bk	(gr)	5,291.8	5,312.9	Memenuhi ≥ 2,3
Berat contoh kering permukaan	Bj	(gr)	5,323.6	5,357.2	
Berat contoh dalam air	Ba	(gr)	3,438.0	3,441.0	
Berat jenis bulk (BJ. Ov.)	Bk		2.806	2.773	
	Bj - Ba	Rata-rata	2.790		
Berat jenis bulk SSD (BJ. SSD)	Bj		2.82	2.796	
	Bj - Ba	Rata-rata	2.810		
Berat jenis semu (BJ. App)	Bk		2.85	2.838	
	Bk - Ba	Rata-rata	2.846		
Penyerapan air (%)	Bj - Bk		0.60	0.834	
	Bk	Rata-rata	0.717		
					Memenuhi ≤ 3%

Mengetahui

PLP Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan

Firhansyah S. S.T

NIP. 19700111 199603 1 001

Lampiran 3 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus



UNIVERSITAS TADULAKO
FAKULTAS TEKNIK - JURUSAN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN BANGUNAN

Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu - Telp. 454014 Psw 170

PROYEK	: Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Tim Semangat Baru
PEKERJAAN	: Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	DIHITUNG	: Tim Semangat Baru
LOKASI	: Lab. Struktur dan Bahan Bangunan Untad	DIPERIKSA	: Firlansyah S. S.T
CONTOH	:	TANGGAL	: 28 Juli 2025

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS
(SNI 03 - 1970 - 1990)

JENIS MATERIAL : AGREGAT HALUS SLAG NIKEL

Pemeriksaan			I	II	Keterangan
Berat contoh kering oven	Bk (gr)		495.880	496.210	
Berat botol + air	B (gr)		664.400	664.400	
Berat contoh + botol + air	Bt (gr)		993.400	993.200	
Berat benda uji SSD	V (gr)		500.000	500.000	
Berat jenis bulk (BJ. Ov.)	$\frac{Bk}{B + V - Bt}$	Rata-rata	2.900	2.898	
			2.924	2.921	memenuhi
Berat jenis bulk SSD (BJ. SSD)	$\frac{V}{B + V - Bt}$	Rata-rata	2.971	2.964	≥ 2.3
			2.971	2.964	
Berat jenis semu (BJ. App)	$\frac{B + Bk - Bt}{V - Bk}$	Rata-rata	0.831	0.764	memenuhi
Penyerapan air	$\frac{V - Bk}{Bk} \times 100\%$	Rata-rata (%)	0.797		$\leq 3\%$
Volume Picnometer	= 500 ml				

Mengetahui,
 PLP Laboratorium Struktur dan Bahan
 Bangunan

Firlansyah S. S.T
 NIP. 19700111 199603 1 001

Lampiran 4 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus *slag* nikel



UNIVERSITAS TADULAKO
FAKULTAS TEKNIK - JURUSAN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN BANGUNAN
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu - Telp. 454014 Psw-170

PROYEK	: Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Tim Semangat Baru
PEKERJAAN	: Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	DIHITUNG	: Tim Semangat Baru
LOKASI	: Lab. Struktur dan Bahan Bangunan Untad	DIPERIKSA	: Firlansyah S. S.T
CONTOH	:	TANGGAL	: 28 Juli 2025

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS
(SNI 03 - 1970 - 1990)

JENIS MATERIAL : AGREGAT HALUS SLAG NIKEL

Pemeriksaan			I	II	Keterangan
Berat contoh kering oven	Bk (gr)		495.880	496.210	
Berat botol + air	B (gr)		664.400	664.400	
Berat contoh + botol + air	Bt (gr)		993.400	993.200	
Berat benda uji SSD	V (gr)		500.000	500.000	
Berat jenis bulk (BJ. Ov.)	Bk		2.900	2.898	
	$B + V - Bt$	Rata-rata	2.899		
Berat jenis bulk SSD (BJ. SSD)	V		2.924	2.921	memenuhi
	$B + V - Bt$	Rata-rata	2.922		≥ 2.3
Berat jenis semu (BJ. App)	Bk		2.971	2.964	
	$B + Bk - Bt$	Rata-rata	2.968		
Penyerapan air	$\frac{V - Bk}{Bk} \times 100\%$		0.831	0.764	memenuhi
		Rata-rata (%)	0.797		$\leq 3\%$

Volume Picnometer = 500 ml

Mengetahui,
 PLP Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan

Firlansyah S. S.T

NIP. 19700111 199603 1 001

Lampiran 5 Hasil Pengujian Abrasi Agregat



UNIVERSITAS TADULAKO
FAKULTAS TEKNIK - JURUSAN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN BANGUNAN
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu - Telp. 454014 Psw-170

PROYEK : Penelitian Tugas Akhir
PEKERJAAN : Keausan Agregat (Abrasi)
LOKASI : Laboratorium Beton
CONTOH :
DIKERJAKAN : TIM SEMANGAT BARU
DIHITUNG : TIM SEMANGAT BARU
DIPERIKSA :
TANGGAL :

KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN ABRASI LOS ANGELES (SNI 03-2417-1991)

Ukuran Saringan		A/B/C/D/E/F/G	
Lolos	Tertahan	Berat Contoh (gram)	
		I	II
76,2 mm (3")	63,5 mm (2 1/2")		
63,5 mm (2 1/2")	50,8 mm (2")		
50,8 mm (2")	37,5 mm (1 1/2")		
37,5 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")		
25,4 mm (1")	19 mm (3/4")		
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	2500.8	2503.3
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	2500.7	2505
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")		
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)		
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)		
A. Berat Contoh		5001.5	5008.3
B. Berat Tertahan Saringan No. 12		4009.1	4011.7
C. Berat Lolos Saringan No. 12 (A-B)		992.4	996.6
Keausan Agregat, C/A X 100%		19.84	19.9
Nilai rata-rata keausan agregat		19.87	

Mengetahui,
 PLP Laboratorium Struktur dan Bahan
 Bangunan

Purnhansyah S. S.T
 NIP. 197001111996031001

Lampiran 6 Hasil Pengujian Abrasi *Slag* Nikel



UNIVERSITAS TADULAKO
FAKULTAS TEKNIK - JURUSAN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN BANGUNAN
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu - Telp. 454014 Psw.170

PROYEK : Penelitian Tugas Akhir
PEKERJAAN : Keausan Agregat (Abrasi)
LOKASI : Laboratorium Beton
CONTOH :
DIKERJAKAN : Tim Semangat Baru
DIHITUNG : Tim Semangat Baru
DIPERIKSA :
TANGGAL :

KEAUSAN SLAG NIKEL DENGAN MESIN ABRASI LOS ANGELES (SNI 03-2417-1991)

Ukuran Saringan		A/B/C/D/E/F/G
		Berat Contoh (gram)
Lolos	Tertahan	I
76,2 mm (3")	63,5 mm (2 1/2")	
63,5 mm (2 1/2")	50,8 mm (2")	
50,8 mm (2")	37,5 mm (1 1/2")	
37,5 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")	1250.9
25,4 mm (1")	19 mm (3/4")	1250
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1250.2
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1250.6
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)	
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	
A. Berat Contoh		5001.7
B. Berat Tertahan Saringan No. 12		4038
C. Berat Lolos Saringan No. 12 (A-B)		963.7
Keausan Agregat, C/A X 100%		19.27%

Mengetahui,
 PLP Laboratorium Struktur dan Bahan
 Bangunan

Firhansyah S. S.T
 NIP. 197001111996031001

Lampiran 7 Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 0% Slag Nikel



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
 Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah
 No.Contoh : 0% Slag Nikel
 Ked. Sampel : 1

Dikerjakan : Shafitri Rayhana Adam
 Dihitung : Shafitri Rayhana Adam
 Diperiksa : Ir. Imran, S.T., M.T
 Tanggal : 18 Juni 2025

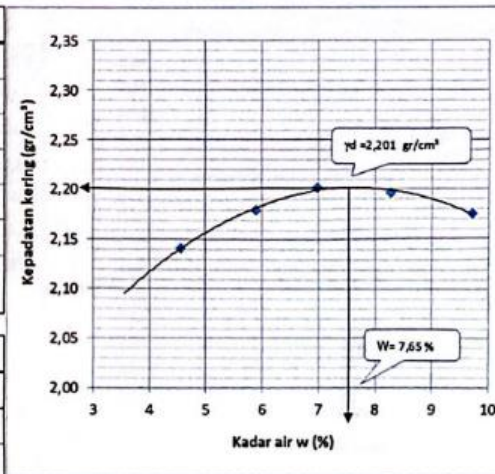
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : Standar/Modified
 Cara : D

		I	II	III	IV	V
A	Berat mold + contoh basah gram	8786,0	8935,0	9034,0	9083,0	9098,0
B	Berat mold gram	4035,0	4035,0	4035,0	4035,0	4035,0
C	Berat contoh basah = A - B gram	4751,0	4900,0	4999,0	5048,0	5063,0
D	Volume contoh cm ³	2122,23	2122,231	2122,231	2122,231	2122,231
E	Kepadatan basah = C/D gr/cm ³	2,239	2,309	2,356	2,379	2,386
F	Kadar air = N %	4,56	5,90	6,98	8,28	9,70
G	Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$ gr/cm ³	2,141	2,180	2,202	2,197	2,175

H	Nomor cawan	A	B	C	D	E
I	Berat cawan + contoh basah gram	45,15	44,77	42,48	53,94	80,90
J	Berat cawan + contoh kering gram	43,76	42,86	40,39	50,57	74,57
K	Berat cawan gram	13,26	10,49	10,44	9,87	9,30
L	Berat air = I - J gram	1,39	1,91	2,09	3,37	6,33
M	Berat contoh kering = J - K gram	30,50	32,37	29,95	40,70	65,27
N	Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$ %	4,56	5,90	6,98	8,28	9,70
	Kadar air rata-rata %	4,56	5,90	6,98	8,28	9,70



Berat isi kering maksimum 2,201 gr/cm³
 Kadar air optimum = 7,65 %

Lampiran 8 Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 20% Slag Nikel



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dihitung	: Shafitri Rayhana Adam
No. Contoh	: 20% Slag Nikel	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., M.T
Ked. Sampel	: 2	Tanggal	: 18 Juni 2025

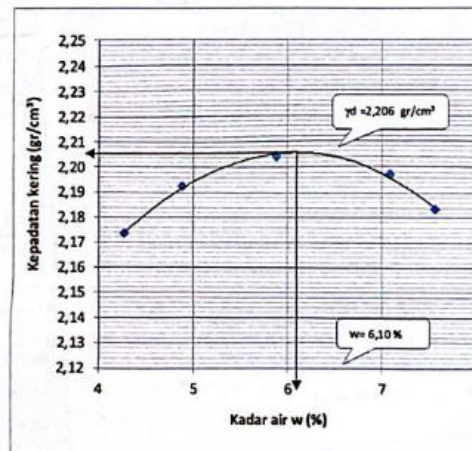
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : Standar/Modified
 Cara : D

		I	II	III	IV	V	
A	Berat mold + contoh basah	gram	8897,0	8967,0	9040,0	9080,0	9071,0
B	Berat mold	gram	4087,0	4087,0	4087,0	4087,0	4087,0
C	Berat contoh basah = A - B	gram	4810,0	4880,0	4953,0	4993,0	4984,0
D	Volume contoh	cm ³	2122,23	2122,231	2122,231	2122,231	2122,231
E	Kepadatan basah = C/D	gr/cm ³	2,266	2,299	2,334	2,353	2,348
F	Kadar air = N	%	4,27	4,89	5,88	7,09	7,56
G	Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$	gr/cm ³	2,174	2,192	2,204	2,197	2,183

H	Nomor cawan	A	B	C	D	E
I	Berat cawan + contoh basah gram	61,46	52,20	49,50	47,81	57,86
J	Berat cawan + contoh kering gram	59,34	50,22	47,29	45,30	54,48
K	Berat cawan gram	9,68	9,69	9,71	9,88	9,80
L	Berat air = I - J gram	2,12	1,98	2,21	2,51	3,38
M	Berat contoh kering = J - K gram	49,66	40,53	37,58	35,42	44,68
N	Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$ %	4,27	4,89	5,88	7,09	7,56
	Kadar air rata-rata %	4,27	4,89	5,88	7,09	7,56



Berat isi kering maksimum 2,206 gr/cm³
 Kadar air optimum = 6,10 %

Lampiran 9 Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 40% Slag Nikel



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Paw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dihitung	: Shafitri Rayhana Adam
No.Contoh	: 40% Slag Nikel	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., M.T
Ked. Sampel	: 3	Tanggal	: 18 Juni 2025

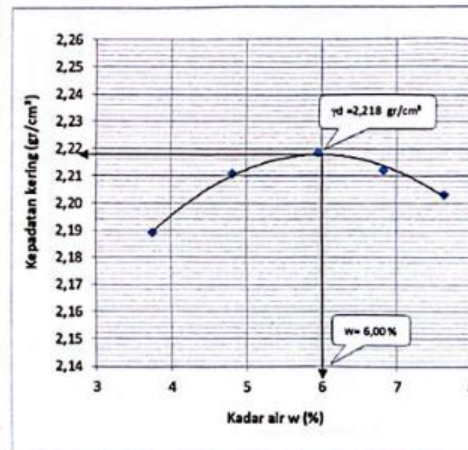
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : Standar/Modified
 Cara : D

		I	II	III	IV	V
A	Berat mold + contoh basah gram	8907,0	9005,0	9075,0	9102,0	9119,0
B	Berat mold gram	4087,0	4087,0	4087,0	4087,0	4087,0
C	Berat contoh basah = A - B gram	4820,0	4918,0	4988,0	5015,0	5032,0
D	Volume contoh cm ³	2122,23	2122,231	2122,231	2122,231	2122,231
E	Kepadatan basah = C/D gr/cm ³	2,271	2,317	2,350	2,363	2,371
F	Kadar air = N %	3,76	4,82	5,95	6,82	7,63
G	Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$ gr/cm ³	2,189	2,211	2,218	2,212	2,203

H Nomor cawan		A	B	C	D	E
I	Berat cawan + contoh basah gram	70,69	72,10	62,05	73,11	63,96
J	Berat cawan + contoh kering gram	68,49	69,23	59,12	69,06	60,12
K	Berat cawan gram	9,91	9,68	9,88	9,71	9,80
L	Berat air = I - J gram	2,20	2,87	2,93	4,05	3,84
M	Berat contoh kering = J - K gram	58,58	59,55	49,24	59,35	50,32
N	Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$ %	3,76	4,82	5,95	6,82	7,63
Kadar air rata-rata	%	3,76	4,82	5,95	6,82	7,63



Berat isi kering maksimum 2,218 gr/cm³
 Kadar air optimum = 6,00 %

Lampiran 10 Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 60% Slag Nikel



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
 Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah
 No.Contoh : 60% Slag Nikel
 Ked. Sampel : 4

Dikerjakan : Shafitri Rayhana Adam
 Dihitung : Shafitri Rayhana Adam
 Diperiksa : Ir. Imran, S.T., M.T
 Tanggal : 18 Juni 2025

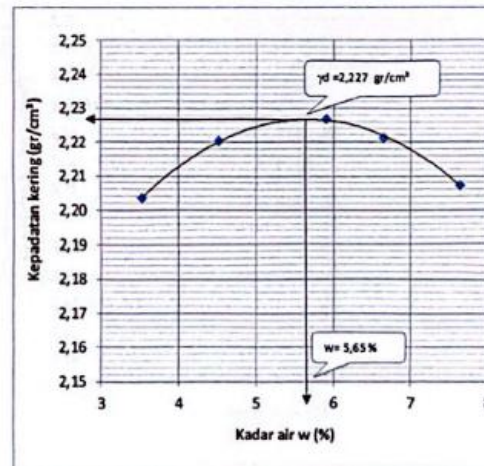
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : Standar/Modified
 Cara : D

	I	II	III	IV	V
A Berat mold + contoh basah gram	8930,0	9014,0	9094,0	9116,0	9131,0
B Berat mold gram	4089,0	4089,0	4089,0	4089,0	4089,0
C Berat contoh basah = A - B gram	4841,0	4925,0	5005,0	5027,0	5042,0
D Volume contoh cm ³	2122,23	2122,231	2122,231	2122,231	2122,231
E Kepadatan basah = C/D gr/cm ³	2,281	2,321	2,358	2,369	2,376
F Kadar air = N %	3,53	4,52	5,91	6,65	7,63
G Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$ gr/cm ³	2,203	2,220	2,227	2,221	2,207

H Nomor cawan	A	B	C	D	E
I Berat cawan + contoh basah gram	68,90	71,48	60,96	72,14	62,98
J Berat cawan + contoh kering gram	66,87	68,84	58,11	68,25	59,21
K Berat cawan gram	9,30	10,44	9,88	9,71	9,80
L Berat air = I - J gram	2,03	2,64	2,85	3,89	3,77
M Berat contoh kering = J - K gram	57,57	58,40	48,23	58,54	49,41
N Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$ %	3,53	4,52	5,91	6,65	7,63
Kadar air rata-rata %	3,53	4,52	5,91	6,65	7,63



Berat isi kering maksimum : 2,227 gr/cm³
 Kadar air optimum : 5,65 %

Lampiran 11 Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 80% Slag Nikel



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
 Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah
 No. Contoh : 80% Slag Nikel
 Ked. Sampel : 5

Dikerjakan : Shafitri Rayhana Adam
 Dihitung : Shafitri Rayhana Adam
 Diperiksa : Ir. Imran, S.T., M.T
 Tanggal : 18 Juni 2025

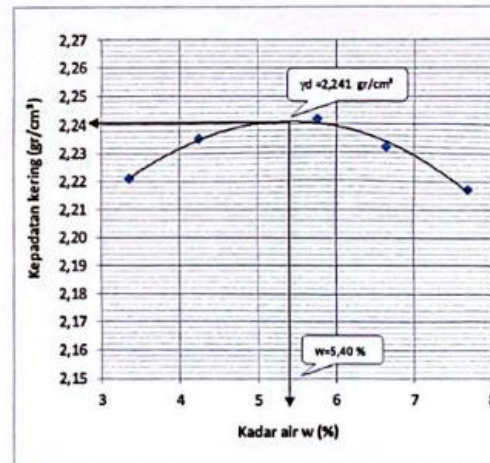
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : Standar/Modified
 Cara : D

		I	II	III	IV	V
A Berat mold + contoh basah	gram	8959,0	9032,0	9118,0	9138,0	9154,0
B Berat mold	gram	4087,0	4087,0	4087,0	4087,0	4087,0
C Berat contoh basah = A - B	gram	4872,0	4945,0	5031,0	5051,0	5067,0
D Volume contoh	cm ³	2122,23	2122,231	2122,231	2122,231	2122,231
E Kepadatan basah = C/D	gr/cm ³	2,296	2,330	2,371	2,380	2,388
F Kadar air = N	%	3,36	4,25	5,75	6,64	7,67
G Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$	gr/cm ³	2,221	2,235	2,242	2,232	2,217

H Nomor cawan		A	B	C	D	E
I Berat cawan + contoh basah	gram	52,90	67,23	68,69	70,45	63,98
J Berat cawan + contoh kering	gram	51,50	64,89	65,49	66,67	60,12
K Berat cawan	gram	9,88	9,88	9,88	9,71	9,80
L Berat air = I - J	gram	1,40	2,34	3,20	3,78	3,86
M Berat contoh kering = J - K	gram	41,62	55,01	55,61	56,96	50,32
N Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$	%	3,36	4,25	5,75	6,64	7,67
Kadar air rata-rata	%	3,36	4,25	5,75	6,64	7,67



Berat isi kering maksimum : 2,241 gr/cm³
 Kadar air optimum : 5,40 %

Lampiran 12 Hasil Uji Pemadatan (Modified Proctor) Sampel 100% Slag Nikel



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
 Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah
 No. Contoh : 100% Slag Nikel
 Ked. Sampel : 6

Dikerjakan : Shafitri Rayhana Adam
 Dihitung : Shafitri Rayhana Adam
 Diperiksa : Ir. Imran, S.T., M.T
 Tanggal : 18 Juni 2025

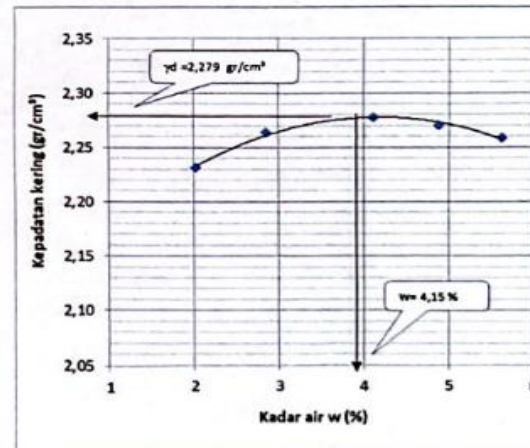
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : Standar/Modified
 Cara : D

	I	II	III	IV	V
A Berat mold + contoh basah gram	8918,0	9028,0	9119,0	9140,0	9150,0
B Berat mold gram	4087,0	4087,0	4087,0	4087,0	4087,0
C Berat contoh basah = A - B gram	4831,0	4941,0	5032,0	5053,0	5063,0
D Volume contoh cm ³	2122,23	2122,231	2122,231	2122,231	2122,231
E Kepadatan basah = C/D gr/cm ³	2,276	2,328	2,371	2,381	2,386
F Kadar air = N %	2,02	2,85	4,11	4,88	5,63
G Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$ gr/cm ³	2,231	2,264	2,277	2,270	2,259

H Nomor cawan	A	B	C	D	E
I Berat cawan + contoh basah gram	66,65	68,89	64,31	75,15	54,90
J Berat cawan + contoh kering gram	65,51	67,25	62,15	72,10	52,49
K Berat cawan gram	9,15	9,65	9,65	9,65	9,65
L Berat air = I - J gram	1,14	1,64	2,16	3,05	2,41
M Berat contoh kering = J - K gram	56,36	57,60	52,50	62,45	42,84
N Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$ %	2,02	2,85	4,11	4,88	5,63
Kadar air rata-rata %	2,02	2,85	4,11	4,88	5,63



Berat isi kering maksimum 2,278 gr/cm³
 Kadar air optimum = 4,15 %

Lampiran 13 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 0% Slag Nikel Sampel 1



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dihitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 0% 01	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 7,65 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,201 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

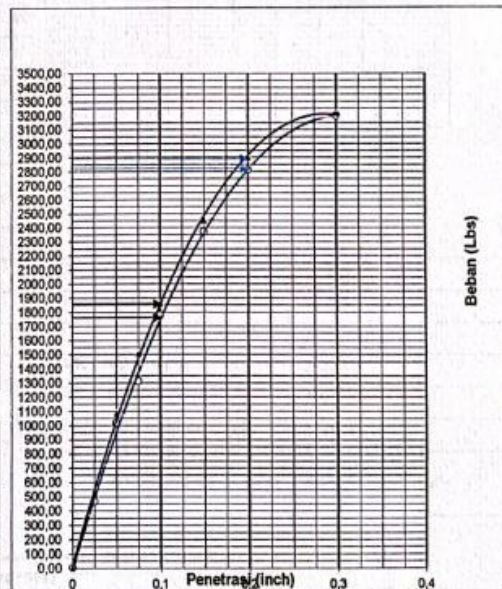
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0,00	0,00
0,5	0,025	55	62	465,22	524,43
1	0,05	120	128	1.015,03	1.082,70
1,5	0,075	155	178	1.311,08	1.505,63
2	0,1	210	220	1.776,31	1.860,89
3	0,15	280	290	2.368,41	2.452,99
4	0,2	332	343	2.808,26	2.901,30
5	0,3	378	380	3.197,35	3.214,27

Pengujian Kadar Air			Sebelum	Sesudah
			A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	54,74		
Cawan + Tanah kering	Gram	51,60		
Berat air	Gram	3,15		
Berat cawan	Gram	10,51		
Berat tanah kering	Gram	41,09		
Kadar air	%	7,65		

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9180,00	
Berat cetakan	Gr	3961,00	
Berat tanah basah	Gr	5219,00	
Isi contoh	cm ³	2202,14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,370	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,201	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	58,33	63,33
CBR (%)	Bawah	61,67	64,44

Lampiran 14 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 0% Slag Nikel Sampel 2



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dibitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 0% 02	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : Standard/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 7,65 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,201 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

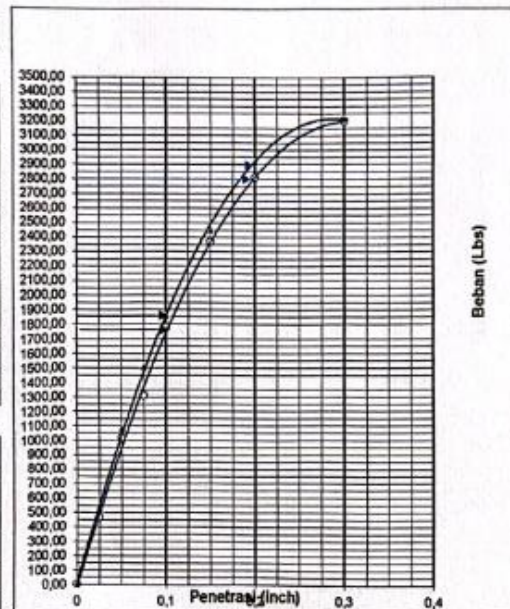
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0,00	0,00
0,5	0,025	55	62	465,22	524,43
1	0,05	120	128	1.015,03	1.082,70
1,5	0,075	155	178	1.311,08	1.505,63
2	0,1	210	220	1.776,31	1.860,89
3	0,15	280	290	2.368,41	2.452,99
4	0,2	332	345	2.808,26	2.918,22
5	0,3	378	380	3.197,35	3.214,27

Pengujian Kadar Air		Sebelum		Setelah	
		A	B	A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	54,74			
Cawan + Tanah kering	Gram	51,60			
Berat air	Gram	3,15			
Berat cawan	Gram	10,51			
Berat tanah kering	Gram	41,09			
Kadar air	%	7,65			

KEPADATAN		Sebelum	Setelah
Berat tanah + cetakan	Gr	9240,00	
Berat cetakan	Gr	4021,00	
Berat tanah basah	Gr	5219,00	
Isi contoh	cm ³	2202,14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,370	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,201	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	58,33	62,22
CBR (%)	Bawah	61,67	64,44

Lampiran 15 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 20% Slag Nikel Sampel 1



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dibitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 20% 01	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : Standard/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 6,10 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,206 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

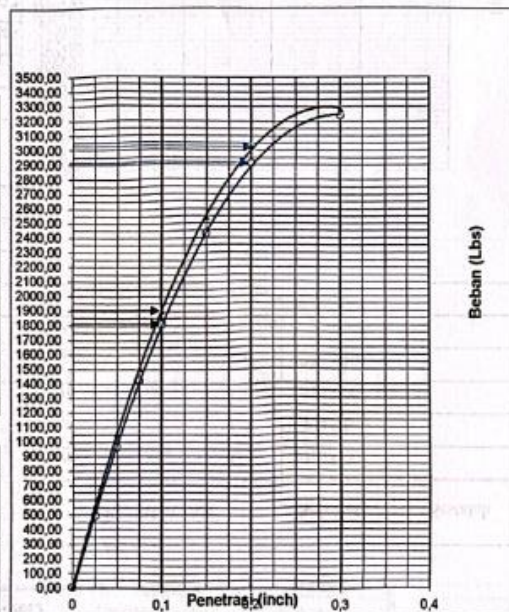
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0,00	0,00
0,5	0,025	58	66	490,60	558,27
1	0,05	114	125	964,28	1.057,33
1,5	0,075	168	178	1.421,04	1.505,63
2	0,1	214	225	1.810,14	1.903,19
3	0,15	287	300	2.427,62	2.537,58
4	0,2	344	358	2.909,76	3.028,18
5	0,3	383	388	3.239,64	3.281,94

Pengujian Kadar Air			Sebelum	Sesudah
			A	B
Cawan + Tanah basah	Gram		57,67	
Cawan + Tanah kering	Gram		56,88	
Berat air	Gram		2,88	
Berat cawan	Gram		9,65	
Berat tanah kering	Gram		47,23	
Kadar air	%		6,10	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9198,00	
Berat cetakan	Gr	4045,00	
Berat tanah basah	Gr	5153,00	
Isi contoh	cm ³	2202,14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,340	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,206	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	60,67	65,33
CBR (%)	Bawah	63,33	67,56

Lampiran 16 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 20% Slag Nikel Sampel 2



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dihitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 20% 02	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : Standard/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 6,10 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,206 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

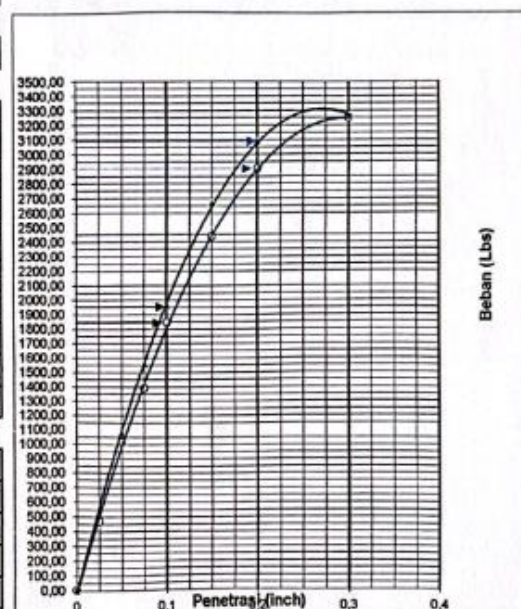
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0,00	0,00
0,5	0,025	55	66	465,22	558,27
1	0,05	120	128	1.015,03	1.082,70
1,5	0,075	164	184	1.387,21	1.556,38
2	0,1	218	232	1.843,97	1.962,40
3	0,15	288	315	2.436,08	2.664,46
4	0,2	343	365	2.901,30	3.087,39
5	0,3	384	386	3.248,10	3.265,02

Pengujian Kadar Air			Sebelum	Sesudah
			A	B
Cawan + Tanah basah	Gram		57,67	
Cawan + Tanah kering	Gram		56,88	
Berat air	Gram		2,88	
Berat cawan	Gram		9,65	
Berat tanah kering	Gram		47,23	
Kadar air	%		6,10	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9198,00	
Berat cetakan	Gr	4045,00	
Berat tanah basah	Gr	5153,00	
Isi contoh	cm ³	2202,14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.340	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,206	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	61,67	64,44
CBR (%)	Bawah	65,00	68,44

Lampiran 17 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 40% Slag Nikel Sampel 1



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dihitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 40% 01	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : -Standard/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 6,00 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,218 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

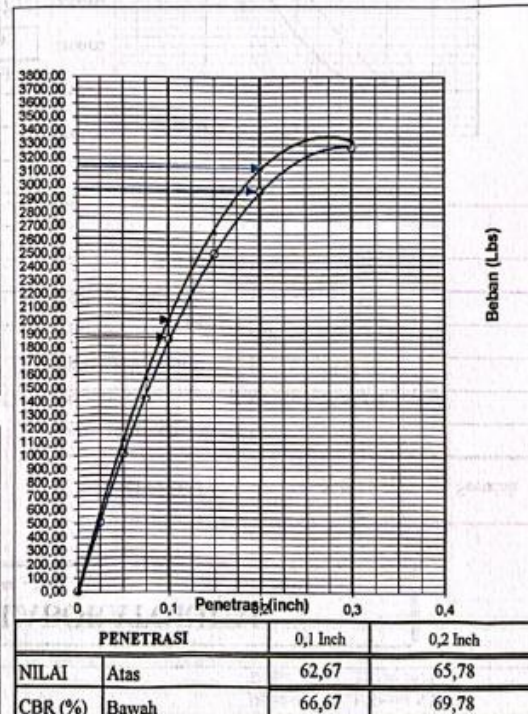
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0,00	0,00
0,5	0,025	60	68	507,52	575,18
1	0,05	120	134	1.015,03	1.133,45
1,5	0,075	168	186	1.421,04	1.573,30
2	0,1	220	238	1.860,89	2.013,15
3	0,15	295	315	2.495,29	2.664,46
4	0,2	350	370	2.960,51	3.129,68
5	0,3	388	393	3.281,94	3.324,23

Pengujian Kadar Air		Sebelum		Sesudah	
		A		B	
Cawan + Tanah basah	Gram	66,52			
Cawan + Tanah kering	Gram	63,30			
Berat air	Gram	3,22			
Berat cawan	Gram	9,65			
Berat tanah kering	Gram	53,65			
Kadar air	%	6,00			

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9138,00	
Berat cetakan	Gr	3961,00	
Berat tanah basah	Gr	5177,00	
Isi contoh	cm ³	2202,14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,351	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,218	



Lampiran 18 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 40% Slag Nikel Sampel 2



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dibitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 40% 02	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : Standard/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 6,00 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,218 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

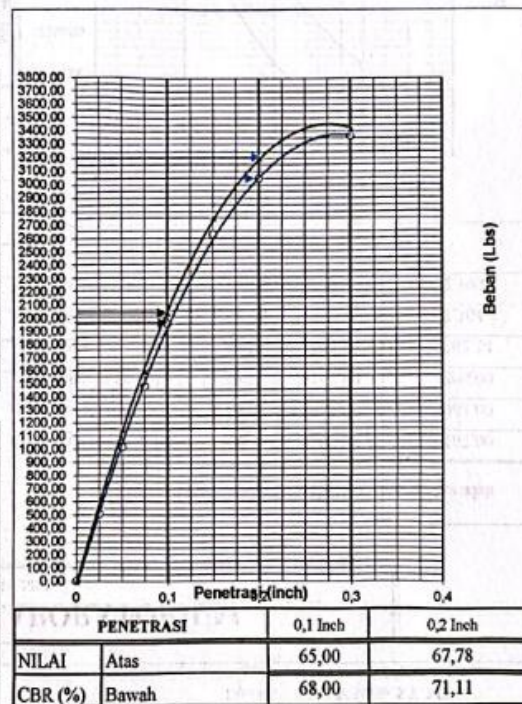
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0,00	0,00
0,5	0,025	60	68	507,52	575,18
1	0,05	120	135	1.015,03	1.141,91
1,5	0,075	174	188	1.471,80	1.590,22
2	0,1	230	240	1.945,48	2.030,06
3	0,15	310	325	2.622,17	2.749,05
4	0,2	360	378	3.045,10	3.197,35
5	0,3	398	404	3.366,52	3.417,27

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	66,52	
Cawan + Tanah kering	Gram	63,30	
Berat air	Gram	3,22	
Berat cawan	Gram	9,65	
Berat tanah kering	Gram	53,65	
Kadar air	%	6,00	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9138,00	
Berat cetakan	Gr	3961,00	
Berat tanah basah	Gr	5177,00	
Isi contoh	cm ³	2202,14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,351	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,218	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	65,00	67,78
CBR (%)	Bawah	68,00	71,11

Lampiran 19 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 60% Slag Nikel Sampel 1



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dihitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 60% 01	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 5,65 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,227 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

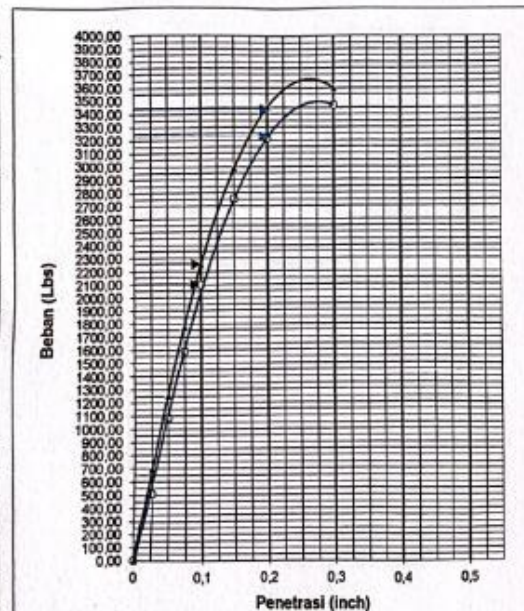
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0,00	0,00
0,5	0,025	60	82	507,52	693,61
1	0,05	128	148	1.082,70	1.251,87
1,5	0,075	188	210	1.590,22	1.776,31
2	0,1	248	266	2.097,73	2.249,99
3	0,15	325	353	2.749,05	2.985,89
4	0,2	380	408	3.214,27	3.451,11
5	0,3	410	425	3.468,03	3.594,91

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	62,70	
Cawan + Tanah kering	Gram	59,87	
Berat air	Gram	2,83	
Berat cawan	Gram	9,87	
Berat tanah kering	Gram	50,00	
Kadar air	%	5,65	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9142,00	
Berat cetakan	Gr	3961,00	
Berat tanah basah	Gr	5181,00	
Isi contoh	cm ³	2201,69	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,353	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,227	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	70,00	72,00
	Bawah	75,00	76,67

Lampiran 20 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 60% Slag Nikel Sampel 2



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dibitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 60% 02	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : Standard/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 5,65 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,227 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

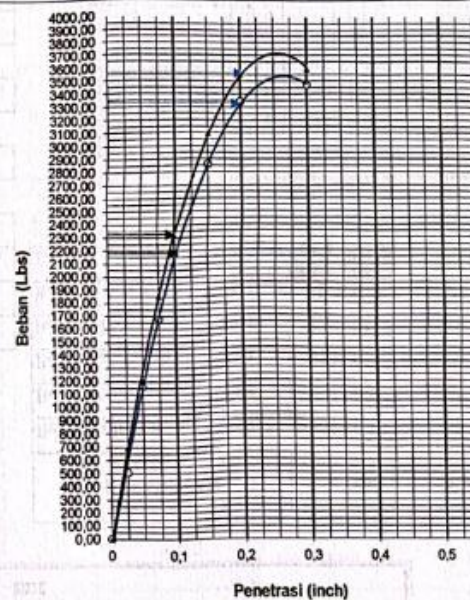
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0,00	0,00
0,5	0,025	60	82	507,52	693,61
1	0,05	138	142	1.167,29	1.201,12
1,5	0,075	198	220	1.674,80	1.860,89
2	0,1	257	274	2.173,86	2.317,66
3	0,15	338	366	2.859,01	3.095,85
4	0,2	395	420	3.341,15	3.552,61
5	0,3	410	425	3.468,03	3.594,91

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	62,70	
Cawan + Tanah kering	Gram	59,87	
Berat air	Gram	2,83	
Berat cawan	Gram	9,87	
Berat tanah kering	Gram	50,00	
Kadar air	%	5,65	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9142,00	
Berat cetakan	Gr	3961,00	
Berat tanah basah	Gr	5181,00	
Isi contoh	cm ³	2201,69	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,353	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,227	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	73,00	74,44
CBR (%)	Bawah	78,00	79,11

Lampiran 21 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 80% Slag Nikel Sampel 1



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dibitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 80% 01	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : Standard/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 5,40 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,241 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

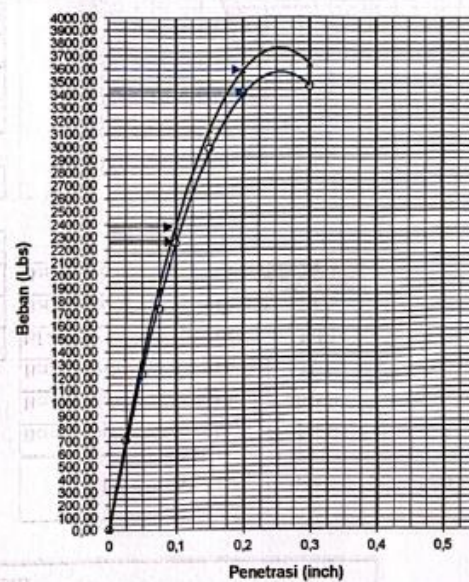
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0,00	0,00
0,5	0,025	84	90	710,52	761,27
1	0,05	145	158	1.226,50	1.336,46
1,5	0,075	205	224	1.734,01	1.894,73
2	0,1	266	281	2.249,99	2.376,87
3	0,15	353	370	2.985,89	3.129,68
4	0,2	404	425	3.417,27	3.594,91
5	0,3	410	430	3.468,03	3.637,20

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	73,23	
Cawan + Tanah kering	Gram	70,02	
Berat air	Gram	3,21	
Berat cawan	Gram	10,51	
Berat tanah kering	Gram	59,51	
Kadar air	%	5,39	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9256,00	
Berat cetakan	Gr	4054,00	
Berat tanah basah	Gr	5202,00	
Isi contoh	cm ³	2202,14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,362	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,241	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	75,00	76,44
CBR (%)	Bawah	79,00	80,00

Lampiran 22 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 80% Slag Nikel Sampel 2



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dibitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 80% 02	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : Standard/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 5,40 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,241 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

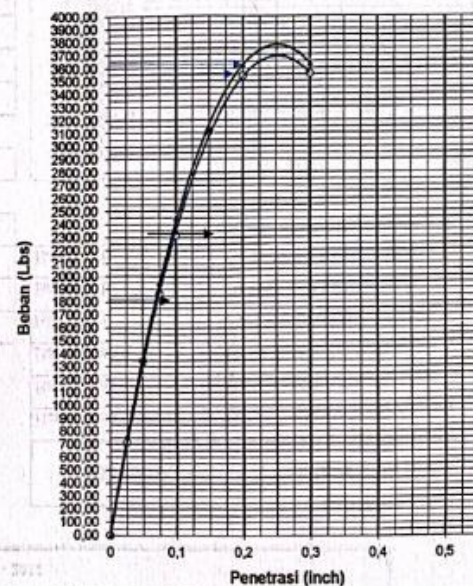
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0	0,00	0,00
0,5	0,025	84	90	710,52	761,27
1	0,05	158	160	1.336,46	1.353,38
1,5	0,075	220	231	1.860,89	1.953,94
2	0,1	274	290	2.317,66	2.452,99
3	0,15	368	370	3.112,76	3.129,68
4	0,2	418	428	3.535,69	3.620,28
5	0,3	420	430	3.552,61	3.637,20

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	73,23	
Cawan + Tanah kering	Gram	70,02	
Berat air	Gram	3,21	
Berat cawan	Gram	10,51	
Berat tanah kering	Gram	59,51	
Kadar air	%	5,39	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9256,00	
Berat cetakan	Gr	4054,00	
Berat tanah basah	Gr	5202,00	
Isi contoh	cm ³	2202,14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,362	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,241	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	77,33	78,89
CBR (%)	Bawah	80,67	81,11

Lampiran 23 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 100% Slag Nikel Sampel 1



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dihitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 100% 01	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : Standard/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 4,15 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,278 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

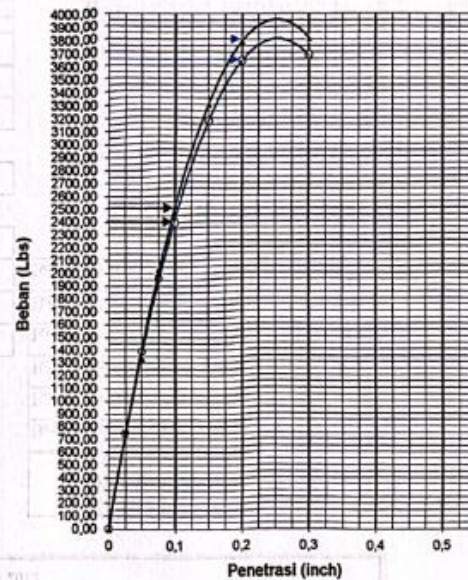
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0,00	0,00	0,00
0,5	0,025	88	90	744,36	761,27
1	0,05	164	158	1.387,21	1.336,46
1,5	0,075	232	240	1.962,40	2.030,06
2	0,1	283	298	2.393,78	2.520,66
3	0,15	375	390	3.171,98	3.298,85
4	0,2	430	448	3.637,20	3.789,45
5	0,3	435	450	3.679,49	3.806,37

Pengujian Kadar Air		Sebelum		Setelah	
		A	B	A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	55,26	69,04		
Cawan + Tanah kering	Gram	53,44	66,27		
Berat air	Gram	1,82	2,77		
Berat cawan	Gram	9,54	18,21		
Berat tanah kering	Gram	43,90	48,06		
Kadar air	%	4,15	5,76		

KEPADATAN		Sebelum	Setelah
Berat tanah + cetakan	Gr	9278,00	
Berat cetakan	Gr	4045,00	
Berat tanah basah	Gr	5233,00	
Isi contoh	cm ³	2202,14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,376	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,282	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	80,00	81,11
CBR (%)	Bawah	83,33	84,44

Lampiran 24 Hasil Uji California Bearing Ratio (CBR) Tanpa Rendaman 100% Slag Nikel Sampel 2



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
 Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Shafitri Rayhana Adam
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	Dihitung	: Shafitri Rayhana Adam
Pekerjaan	: CBR	Diperiksa	: Ir. Imran, S.T., MT
Contoh	: 100% 02	Tanggal	: 25 Juli 2025

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : -Standard/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 4,15 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2,278 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal					
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

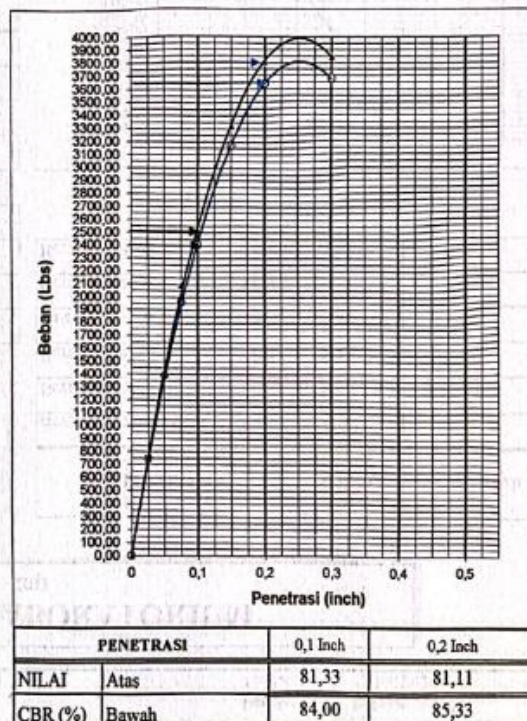
Tinggi Sampel Awal =

KALIBRASI PROVING RING : 8,4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0	0,00	0,00	0,00
0,5	0,025	88	90	744,36	761,27
1	0,05	164	165	1.387,21	1.395,67
1,5	0,075	232	248	1.962,40	2.097,73
2	0,1	285	298	2.410,70	2.520,66
3	0,15	375	393	3.171,98	3.324,23
4	0,2	430	450	3.637,20	3.806,37
5	0,3	435	455	3.679,49	3.848,66

Pengujian Kadar Air		Sebelum		Sesudah	
		A	B	A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	55,26	69,04		
Cawan + Tanah kering	Gram	53,44	66,27		
Berat air	Gram	1,82	2,77		
Berat cawan	Gram	9,54	18,21		
Berat tanah kering	Gram	43,90	48,06		
Kadar air	%	4,15	5,76		

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9278,00	
Berat cetakan	Gr	4055,00	
Berat tanah basah	Gr	5233,00	
Isi contoh	cm ³	2202,14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2,376	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2,282	



Lampiran 25 Dokumentasi Pengambilan Material Agregat Alam



Lampiran 26 Dokumentasi Pengambilan Material Slag Nikel



Lampiran 27 Dokumentasi Pengujian Material



Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan



Pengujian Analisa Saringan

Lampiran 28 Dokumentasi Pengujian Material



Pengujian Abrasi

Lampiran 29 Dokumentasi Pengujian Modified Proctor dan CBR Unsoaked

