

TUGAS AKHIR

**PENGARUH SUBSTITUSI AGREGAT ALAM LOLOS
SARINGAN NO.200 DENGAN LIMBAH *SLAG* NIKEL
TERHADAP NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO*
(CBR) LAPIS PONDASI BAWAH**



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

Oleh :

FIYA AUDREY ANDALUSIA

STB. F 111 21 006

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO

PALU, NOVEMBER 2025

TUGAS AKHIR

**PENGARUH SUBSTITUSI AGREGAT ALAM LOLOS
SARINGAN N0.200 DENGAN LIMBAH *SLAG* NIKEL
TERHADAP NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO*
(CBR) LAPIS PONDASI BAWAH**



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

Oleh :

FIYA AUDREY ANDALUSIA

STB. F 111 21 006

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
PALU, NOVEMBER 2025**

FINAL PROJECT

THE INFLUENCE OF SUBSTITUTING NATURAL AGGREGATE PASSING SIEVE NO. 200 WITH NICKEL SLAG WASTE ON THE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) OF SUBBASE LAYERS

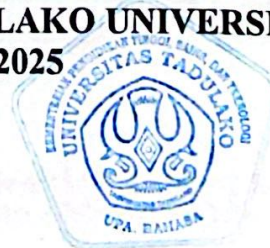


Submitted as a partial fulfillment of the requirements for Bachelor Degree
at Civil Engineering

Compiled by:

FIYA AUDREY ANDALUSIA
F 111 21 006

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



HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH SUBSTITUSI AGREGAT ALAM LOLOS SARINGAN
NO.200 DENGAN LIMBAH SLAG NIKEL TERHADAP NILAI
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) LAPIS PONDASI BAWAH**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

FIYA AUDREY ANDALUSIA

F11121006

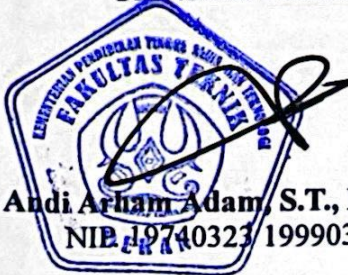
SKRIPSI

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,



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

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako,

A black ink handwritten signature, likely belonging to Dr. Sriyati Ramadhani, is written over the text of the Head of the Civil Engineering Department.

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

HALAMAN PERSETUJUAN

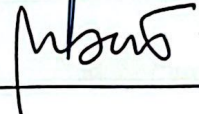
Panitia Ujian Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Tadulako yang ditetapkan berdasarkan SK Dekan Fakultas Teknik No.19622/UN.28.6//DK/2025, Tanggal 14 Oktober 2025 menyatakan menyetujui Tugas Akhir yang telah dipertanggungjawabkan di hadapan Majelis Penguji pada Hari Rabu Tanggal 19 November 2025 oleh:

Nama : Fiya Audrey Andalusia

No. Stambuk : F11121006

Judul : PENGARUH SUBSTITUSI AGREGAT ALAM LOLOS SARINGAN NO.200 DENGAN LIMBAH SLAG NIKEL TERHADAP NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO* (CBR) LAPIS PONDASI BAWAH

Dosen Pembimbing:

No.	Nama/ NIP	Jabatan	Tanda Tangan
1.	Dr. Ir. H. Syamsul Arifin, M.Sc NIP. 19641111 1991021 001	Pembimbing 1	
2.	Ida Sri Oktaviana, S.T., M.T., M.Sc NIP. 19741028 1999032 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 : Fiya Audrey Andalusia

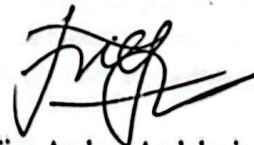
No. Stb : F11121006

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, 05 Desember 2025



Fiya Audrey Andalusia

Stb. F11121006

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

~ Take The Risk Or Lose The Chance (Ambil Resiko atau Kehilangan Kesempatan)

`Life is Short, Time is Fast, No Replay, No Rewand, So Enjoy Every Moment As It Comes.

Persembahan

Tulisan ini penulis persembahkan untuk kedua orangtua yang selalu berjuang tanpa kenal lelah demi kepentingan dan kebahagiaan anak-anaknya, segala apapun yang dicapai penulis ini karena berkat semua doa-doa dan dukungan dari kedua orangtua yang diberikan kepada penulis, menjadi hadiah sebagai hasil dari perjuangan kedua orangtua yang dicurahkan kepada penulis selama ini. Penulis juga mempersembahkan tulisan ini untuk diri sendiri yang sudah menjadi pendorong dari dalam untuk selalu kuat, semangat dan mau berusaha untuk menjadi versi yang terbaik. Penulis mengharapkan kedepannya akan ada banyak hal baik terus datang ke diri dan orangtua penulis, Aamiin.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur saya panjatkan kepada Allāh Subḥānahū wa Ta‘ālā karena atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul **“Pengaruh Substitusi Agregat Alam Lolos Saringan No.200 dengan Limbah Slag Nikel Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR) Lapis Pondasi Bawah”**. Saya telah berusaha maksimal dalam penulisan Tugas Akhir ini, melewati berbagai kesulitan yang menghambat proses penyusunan Tugas Akhir. Namun atas izin-Nya melalui bantuan dari berbagai pihak akhirnya dapat selesai dengan baik. Oleh karena itu melalui kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Luthfi dan Ibu Nurcaya Nurdin, selaku papa dan mama saya yang telah mendidik dan membesarkan saya tanpa kenal lelah serta selalu mengorbankan dan memberikan segalanya untuk saya. Terima kasih atas semua doa restunya, kasih sayang, nasehat, serta segala fasilitas penunjang yang telah diberikan.
2. Untuk Nenek saya yang sudah turut merawat saya di masa kecil.
3. Untuk adik kandung saya Fachri Adliffya Hilmi yang turut memberikan dukungan serta bantuannya.
4. Ucapkan terimakasih kepada Bapak Dr. Ir. H. Syamsul Arifin, M.Sc dan Ibu Ida Sri Oktaviana, ST.,M.T.,M.Sc selaku pembimbing yang senantiasa meluangkan waktunya untuk memberikan arahan dan bimbingannya serta motivasi selama penyusunan Tugas Akhir ini
5. Bapak Ir.Andi Arham Adam, ST, MSc., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
6. Ibu Dr. Sriyati Ramadhani, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
7. Ibu Dr. Ir. Astri Rahayu, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, beserta sekretaris.
8. Ibu Dr.Novita Pradani, ST., MT. selaku dosen wali yang telah meluangkan waktunya untuk perwalian dan memberikan arahan serta saran kepada saya.
9. Tim dosen penguji Ibu Ida Sri Oktaviana, ST., MT., M.Sc., Ibu Dr.Novita Pradani, ST., MT., dan Bapak Dr. Ir. Taslim Bahar, MT., serta Bapak Mashuri,

ST,MT., yang telah memberikan arahan, dan saran demi perbaikan penyusunan Tugas Akhir ini.

- 10.** Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Tadulako atas segala ilmu pengetahuan yang telah diberikan.
- 11.** Staf tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Tadulako yang telah membantu pengelolaan administrasi selama penulisan menempuh Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- 12.** Terimakasih kepada Irma, Tasya, Putri, Pritty, Icha, Najmi dan sepupu-sepupu semua, tante, om, dan ponakan-ponakan saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, yang selalu menghibur, memberikan doa serta dukungannya.
- 13.** Terimakasih untuk sahabat-sahabat saya, Maisarah Az Zahra dan Shafitri Rayhana Adam selaku sahabat saya yang selalu menghibur, menemani saya, memberikan semangat, motivasi, dan selalu bersama untuk saling menguatkan selama perkuliahan, terutama dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
- 14.** Untuk sahabat saya, Sely Silvana Mpueti yang sudah selalu membantu dan kebersamaan saya sejak awal perkuliahan sampai akhir hayatnya, walaupun raganya sudah tidak bersama kami, tetapi banyak kenangan bersama yang terus melekat di ingatan kami selama ini.
- 15.** Saya ucapkan terimakasih kepada partner saya Kak Fikri Darmansah, S.T dan rekan-rekan dekat saya selama perkuliahan, yaitu grup Jeng-Jeng dan grup Primadona Blackdiamond yang selalu saling memberi dorongan, doa, dan membantu saya di akademis maupun di luar akademis selama ini.
- 16.** Terimakasih kepada rekan-rekan penelitian saya yang sudah berjuang di Lab.Mekanika Tanah yang juga kebersamai dan membantu saya selama melaksanakan penelitian dari awal sampai akhir.
- 17.** Terimakasih kepada sahabat-sahabat saya semasa sekolah, yaitu Annisa Febrina Fadli, Diva Faradila, Andi Wulan Wahyuni, Nurhikmah Ridhayanti, dan juga Ummul Nabilah yang sudah membantu dan mendukung proses saya dari masa sekolah sampai dewasa.
- 18.** Terimakasih kepada teman-teman kelas A Sipil 21, teman-teman CBD 1, dan semua teman-teman seangkatan Teknik Sipil angkatan 21 lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang dari awal memberi kisah seru,

membersamai dan membantu dalam perkuliahan sampai saat ini, terutama saat mengerjakan tugas besar.

- 19.** Terakhir, saya berterimakasih kepada diri sendiri yang telah melalui berbagai suka dan duka, kuat dan tetap sehat menghadapi rintangan dalam proses menyelesaikan kuliah hingga di titik ini, terimakasih karena tidak pernah menyerah dan selalu berusaha untuk kebaikan diri.

Sebagai Penulis, saya menyadari keterbatasan dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak lepas dari kekurangan baik materi maupun padu padan bahasanya yang masih jauh dari kesempurnaan. Dengan demikian koreksi serta saran yang bersifat membangun sangat dibutuhkan dari semua pihak, agar ke depannya dapat disempurnakan.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada saya mendapat balasan yang setimpal dari Allāh Subhānahū wa Ta‘ālā dan semoga kita semua senantiasa diberikan kesehatan dan umur yang panjang.

Palu, November 2025

Penulis

Fiya Audrey Andalusia

F111 21 006

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-3
1.4 Manfaat Penelitian.....	I-3
1.5 Batasan Masalah.....	I-4
1.6 Sistematika Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
2.1 <i>Slag</i> Nikel	II-1
2.2 Agregat	II-2
2.2.1 Definisi Agregat	II-2
2.2.2 Jenis-Jenis Agregat.....	II-4

2.2.3	Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>).....	II-5
2.3	Pengujian <i>Slag</i> Nikel & Agregat	II-7
2.3.1	Berat Jenis dan Penyerapan	II-7
2.3.2	Uji Abrasi (<i>Los Angeles</i>)	II-7
2.4	Lapis Pondasi Bawah (<i>Subbase Course</i>).....	II-8
2.4.1	Pengertian dan Fungsi Lapis Pondasi Bawah (<i>Subbase Course</i>)	II-8
2.4.2	Material Penyusun Lapis Pondasi Bawah.....	II-9
2.4.3	Gradasi Agregat Lapis Pondasi Bawah.....	II-10
2.5	Pengujian Lapis Pondasi Bawah	II-14
2.5.1	Analisa Saringan	II-14
2.5.2	Uji Pemadatan	II-16
2.5.3	<i>California Bearing Ratio</i>	II-17
BAB III METODE PENELITIAN		III-1
3.1	Bagan Alir Penelitian	III-1
3.2	Studi Pustaka	III-2
3.3	Teknik Pengumpulan Data	III-2
3.4	Pengambilan Material.....	III-2
3.4.1	Lokasi Pengambilan Limbah <i>Slag</i> Nikel	III-2
3.4.2	Metode Pengambilan Limbah <i>Slag</i> Nikel	III-3
3.4.3	Lokasi Pengambilan Agregat.....	III-3
3.4.4	Metode Pengambilan Agregat	III-4
3.4.5	Lokasi Pengujian	III-4
3.5	Pengujian Material di Laboratorium	III-5
3.5.1	Pengujian Analisa Saringan.....	III-5
3.5.2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan	III-5
3.5.3	Pengujian Abrasi	III-6
3.5.4	Pengujian Pemadatan Tanah.....	III-6

3.5.5	Pengujian <i>California Bearing Ratio</i> (CBR).....	III-7
3.6	Rancangan Campuran.....	III-8
3.7	Analisis Data	III-11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		IV-1
4.1	Pemeriksaan Karakteristik Agregat dan <i>Slag</i> Nikel	IV-1
4.1.1	Hasil Analisa Saringan	IV-1
4.1.2	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat dan <i>Slag</i> nikel ...	IV-3
4.1.3	Abrasi Agregat Alam.....	IV-4
4.2	Uji Pemadatan (<i>Modified Proctor</i>).....	IV-5
4.3	Uji <i>California Bearing Ratio</i> (CBR)	IV-9
4.4	Potensi Pengembangan (<i>Swelling</i>)	IV-12
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		V-1
5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA.....		<u>P-1</u>
LAMPIRAN.....		L-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Ketentuan Mutu Agregat	II-3
Tabel 2. 2	Gradasi Untuk Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase	II-11
Tabel 2. 3	Sifat-sifat Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase	II-11
Tabel 2. 4	Sifat Agregat Campuran	II-14
Tabel 2. 5	Ukuran Bukaan Ayakan Berdasarkan AASHTO	II-15
Tabel 2. 6	Nilai beban yang dipergunakan untuk melakukan Penetrasi CBR.	II-20
Tabel 3. 1	Rancangan Campuran Gradasi Ideal	III-9
Tabel 3. 2	Rancangan Komposisi Substitusi limbah <i>Slag</i> Nikel	III-10
Tabel 3. 3	Sampel Pengujian <i>Unsoaked</i> dan <i>Soaked</i> CBR.....	III-11
Tabel 4. 1	Hasil Analisa Saringan	IV-2
Tabel 4. 2	Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Alam.....	IV-3
Tabel 4. 3	Hasil Berat Jenis abu terbang Agregat Alam dan <i>Slag</i> Nikel	IV-4
Tabel 4. 4	Hasil Pengujian Abrasi Agregat Alam	IV-4
Tabel 4. 5	Hasil Pengujian Pemadatan (Modified Proctor).....	IV-5
Tabel 4. 6	Rekapan Hasil Pengujian CBR kondisi <i>Unsoaked</i> dan <i>Soaked</i>	IV-10
Tabel 4. 7	Hasil Pengujian <i>Swelling</i>	IV-12

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Agregat	II-5
Gambar 2. 2	Abu Terbang Agregat	II-6
Gambar 2. 3	Alat Abrasi <i>Los Angeles</i>	II-8
Gambar 2. 4	Gradasi menerus (Continuous Grade)	II-13
Gambar 2. 5	Gradasi seragam (Uniform Grade)	II-13
Gambar 2. 6	Gradasi Senjang (Gap Grade).....	II-13
Gambar 2. 7	Satu Set Ayakan.....	II-15
Gambar 2. 8	Penumbuk Modified Proctor (kanan)	II-17
Gambar 2. 9	Hubungan antara Berat isi basah dan Kadar air.....	II-17
Gambar 2. 10	Hubungan antara beban dan penetrasi CBR	II-19
Gambar 2. 11	Alat Pengujian CBR (<i>California Bearing Ratio</i>).....	II-19
Gambar 3.1	Bagan Alir (Flowchart) Penelitian.....	III-1
Gambar 3. 2	Lokasi Pengambilan <i>Slag</i> Nikel	III-2
Gambar 3. 3	Pengambilan Limbah <i>Slag</i> Nikel	III-3
Gambar 3. 4	Lokasi Pengambilan Agregat.....	III-3
Gambar 3. 5	Pengambilan Agregat.....	III-4
Gambar 3. 6	Lokasi Pengujian	III-4
Gambar 4. 1	Bentuk Agregat Alam.....	IV-1
Gambar 4. 2	Bentuk <i>Slag</i> Nikel.....	IV-1
Gambar 4. 3	Grafik Distribusi Ukuran Butir Lapis Pondasi Bawah	IV-2
Gambar 4. 4	Grafik Kepadatan Kering VS Kadar Air	IV-6
Gambar 4. 5	Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Kepadatan Kering	IV-7
Gambar 4. 6	Kadar <i>Slag</i> Nikel Terhadap Kepadatan Kering Maks	IV-8
Gambar 4. 7	Kadar Substitusi <i>Slag</i> Nikel Terhadap Kadar Air Optimum	IV-9
Gambar 4. 8	Grafik Hasil CBR Tanpa Rendaman	IV-11
Gambar 4. 9	Grafik Hasil CBR Rendaman	IV-11
Gambar 4. 10	Grafik Nilai <i>Swelling</i>	IV-13

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Analisa Saringan.....	L-1
Lampiran 2	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	L-2
Lampiran 3	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	L-3
Lampiran 4	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Abu Batu Agregat.....	L-4
Lampiran 5	Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Abu Batu <i>Slag</i> Nikel	L-5
Lampiran 6	Hasil Pengujian Abrasi Agregat	L-6
Lampiran 7	Hasil Pemadatan Variasi 0% (500 gr Fly Ash agregat alam)	L-7
Lampiran 8	Hasil Pemadatan Variasi 20% (100 gr Fly Ash <i>Slag</i> nikel).....	L-8
Lampiran 9	Hasil Pemadatan Variasi 40% (200 gr Fly Ash <i>Slag</i> nikel).....	L-9
Lampiran 10	Hasil Pemadatan Variasi 60% (300 gr Fly Ash <i>Slag</i> nikel).....	L-10
Lampiran 11	Hasil Pemadatan Variasi 80% (400 gr Fly Ash <i>Slag</i> nikel).....	L-11
Lampiran 12	Hasil Pemadatan Variasi 100% (500 gr Fly Ash <i>Slag</i> nikel).....	L-12
Lampiran 13	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 0% Sampel 1.1	L-13
Lampiran 14	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 0% Sampel 1.2	L-14
Lampiran 15	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 20% Sampel 1.1	L-15
Lampiran 16	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 20% Sampel 1.2	L-16
Lampiran 17	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 40% Sampel 1.1	L-17
Lampiran 18	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 40% Sampel 1.2	L-18
Lampiran 19	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 60% Sampel 1.1	L-19
Lampiran 20	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 60% Sampel 1.2	L-20
Lampiran 21	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 80% Sampel 1.1	L-21
Lampiran 22	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 80% Sampel 1.2	L-22
Lampiran 23	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 100% Sampel 1.1	L-23
Lampiran 24	Hasil Uji CBR <i>Unsoaked</i> variasi 100% Sampel 1.2	L-24
Lampiran 25	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 0% Sampel 1.1	L-25
Lampiran 26	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 0% Sampel 1.2	L-26
Lampiran 27	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 20% Sampel 1.1	L-27
Lampiran 28	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 20% Sampel 1.2	L-28
Lampiran 29	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 40% Sampel 1.1	L-29
Lampiran 30	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 40% Sampel 1.2	L-30

Lampiran 31	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 60% Sampel 1.1	L-31
Lampiran 32	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 60% Sampel 1.2	L-32
Lampiran 33	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 80% Sampel 1.1	L-33
Lampiran 34	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 80% Sampel 1.2	L-34
Lampiran 35	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 100% Sampel 1.1	L-35
Lampiran 36	Hasil Uji CBR <i>Soaked</i> variasi 100% Sampel 1.2	L-36
Lampiran 37	Diagram CBR <i>Unsoaked</i> Penetrasi 0,1 inci.....	L-37
Lampiran 38	Diagram CBR <i>Unsoaked</i> Penetrasi 0,2 inci.....	L-37
Lampiran 39	Diagram CBR <i>Soaked</i> Penetrasi 0,1 inci	L-38
Lampiran 40	Diagram CBR <i>Soaked</i> Penetrasi 0,2 inci	L-38
Lampiran 41	Tabel Rekap Hasil Pengujian CBR.....	L-38
Lampiran 42	Foto Dokumentasi.....	L-39

DAFTAR NOTASI

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

PENGARUH SUBSTITUSI AGREGAT ALAM LOLOS SARINGAN NO.200 DENGAN LIMBAH SLAG NIKEL TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) LAPIS PONDASI BAWAH

Fiya Audrey Andalusia, Syamsul Arifin, Ida Sri Oktaviana

ABSTRAK

Slag nikel merupakan limbah hasil dari proses produksi industri bijih nikel yang dapat diaplikasikan sebagai bahan pengisi campuran agregat alam pada lapis perkerasan jalan, khususnya lapis pondasi bawah (*subbase*). Bahan Pengisi (*filler*) adalah material halus yang ditambahkan ke dalam campuran lapis pondasi bawah konstruksi jalan berfungsi untuk mengisi rongga-rongga antar agregat dalam campuran. *Filler* dapat berupa material halus seperti abu batu dan abu terbang (*Fly Ash*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi agregat alam lolos saringan no.200 dengan limbah *Slag* nikel terhadap nilai CBR (*California Bearing Ratio*) pada lapis pondasi bawah konstruksi jalan. Metode penelitian dilaksanakan secara eksperimental di laboratorium dengan sampel yang menggunakan variasi persentase limbah *Slag* nikel sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% sebagai pengganti abu batu yang lolos saringan no.200, pengujiannya meliputi uji pemadatan *Modified Proctor* dan uji CBR dalam kondisi sampel tidak direndam (*Unsoaked*) dan juga kondisi direndam air (*Soaked*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa substitusi limbah *Slag* nikel meningkatkan kepadatan kering maksimum (MDD) dari 2,234 gr/cm³ hingga mencapai 2,302 gr/cm³ dan menurunkan kadar air optimum (KAO) dari 6,6% sampai menjadi 3,25%. Nilai CBR terbaik diperoleh pada sampel variasi 100%, yaitu sebesar 89,67% (*Unsoaked*) dan 83,89% (*Soaked*) pada penetrasi 0,2 inci, yang artinya dapat memenuhi spesifikasi teknis minimum >60% untuk lapis pondasi bawah menurut Bina Marga 2025.

Kata kunci: *Slag Nikel, Subbase, Filler, CBR, Unsoaked, Soaked, KAO, MDD.*

THE INFLUENCE OF SUBSTITUTING NATURAL AGGREGATE PASSING SIEVE NO. 200 WITH NICKEL SLAG WASTE ON THE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) OF SUBBASE LAYERS

Fiya Audrey Andalusia, Syamsul Arifin, Ida Sri Oktaviana

ABSTRACT

Nickel slag is a waste product from the nickel ore industry, can be used as a natural aggregate filler in the subbase layer of road pavements. Filler is a fine material added to the subbase mixture to fill the voids between aggregates. Common fillers include stone dust and fly ash. This study aims to determine how replacing natural aggregate that passes a No. 200 sieve with nickel slag waste affects the *California Bearing Ratio* (CBR) value for a road's subbase layer. The research was conducted through a laboratory experiment using samples with varying percentages of nickel slag waste: 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100%, as a substitute for stone dust that passed the No. 200 sieve. The tests included the Modified Proctor compaction test and the CBR test on both *unsoaked* and *soaked* samples. The results showed that substituting with nickel slag waste increased the maximum dry density (MDD) from 2.234 gr/cm³ to 2.302 gr/cm³ and decreased the optimum moisture content (OMC) from 6.6% to 3.25%. The best CBR value was found in the 100% slag sample, reaching 89,67% (*Unsoaked*) and 83,89% (*Soaked*) at 0.2-inch penetration. This value meets the minimum technical specification of >60% for subbase layers according to Bina Marga 2025 standards.

Keywords: *Nickel Slag, Subbase, Filler, CBR, Unsoaked, Soaked, OMC, MDD.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konstruksi perkerasan jalan di Indonesia umumnya lebih dari 90% menggunakan teknologi perkerasan dengan bahan aspal, dimana pembangunan perkerasan setiap tahunnya membutuhkan agregat dengan jumlah yang banyak guna menghasilkan lapis pondasi yang berkualitas dan tahan lama. Penggunaan agregat alam yang dalam jumlah banyak secara berkala dapat menghabiskan persediaan bahan agregat yang jumlahnya terbatas, maka dari itu alternatif yang dapat dipertimbangkan yaitu dengan memanfaatkan agregat buatan hasil penambangan yaitu *Slag* nikel (Bethary & Intari, 2022).

Perlu diketahui, Indonesia memiliki cadangan nikel nomor 1 di dunia yang mencapai 139 juta ton atau 52% dari total cadangan dunia. Produksi bijih nikel Indonesia pada tahun 2019 sebesar 800 ribu ton atau sekitar 30% dari produksi total di dunia. Besarnya peningkatan produksi ini sejalan dengan pembuangan limbah sampingan produksi terak (*Slag*) yang dihasilkan dari pengolahan nikel. Industri peleburan dan pemurnian domestik menghasilkan sekitar 21,8 juta *Slag* per tahun dimana baja dan nikel menjadi industri yang menghasilkan *Slag* terbesar (Wiziarti & Rahayu, 2022)

Salah satu pemanfaatan limbah *Slag* nikel yaitu dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat alam pada lapis perkerasan jalan. Dikarenakan banyaknya penggunaan agregat alam sebagai material infrastruktur jalan yang menyebabkan ketersediaannya semakin berkurang, jadi dibutuhkan jenis material alternatif seperti *Slag* nikel yang berasal dari proses pengolahan nikel yang sebelumnya sudah diuji dengan suatu pengujian untuk mengetahui kadar kandungan zat berbahaya dari produksi nikel tersebut dan kemudian dari hasil pengujian tersebut telah memenuhi persyaratan yang digunakan dalam material konstruksi jalan, sehingga *Slag* nikel ini dapat dijadikan sebagai bahan alternatif yang ramah lingkungan untuk menyubstitusi material konstruksi jalan, khususnya pada lapis pondasi agregat (Bethary & Intari, 2022).

Konstruksi perkerasan jalan mempunyai beberapa lapisan, terdiri dari lapisan tanah dasar (*subgrade*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), lapis pondasi atas

(*base course*), dan lapis permukaan (*surface course*) yang masing-masing lapisan harus saling mendukung dan menerima beban lalu lintas melalui roda-roda kendaraan yang kemudian diratakan ke lapisan di bawahnya dan pada akhirnya beban tersebut diterima oleh tanah dasar (*subgrade*). Dalam hal ini berarti ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kemampuan lapisan konstruksi jalan dalam menahan beban lalu lintas di atasnya, yaitu sifat fisik agregat, penyerapan air, berat jenis, gradasi, kepadatan, dan daya dukung yang dinyatakan dalam nilai CBR (*California Bearing Ratio*) yang mempengaruhi kualitas dan stabilitas suatu konstruksi perkerasan jalan. Untuk membuat lapisan perkerasan dengan daya dukung yang tinggi, dibutuhkan material penyusun yang bagus. Dalam hal ini, limbah *Slag* nikel diharapkan sebagai bahan yang berpotensi menjadi material penyusun konstruksi perkerasan jalan yang baik. Dengan mempertimbangkan kelayakan teknis, resiko untuk lingkungan, dan manfaat ekonomi, memungkinkan untuk memanfaatkan limbah *Slag* nikel sebagai material alternatif untuk konstruksi jalan, sehingga selain dapat mengurangi ketergantungan terhadap material agregat alam yang standar untuk jalan, juga dapat menjadi material yang ramah lingkungan untuk mengurangi penyebab adanya polusi (Susanto dkk., 2020).

Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan pengujian dan pengetahuan tentang limbah *Slag* nikel sebagai material konstruksi jalan, serta didorong untuk mengetahui pengaruh kemampuan substitusi agregat alam lolos saringan no.200 dengan limbah *Slag* nikel terhadap nilai CBR Lapis Pondasi Bawah (*Subbase course*) di konstruksi jalan, maka penulis mengangkat topik tugas akhir :

“Pengaruh Substitusi Agregat Alam Lolos Saringan No.200 dengan Limbah *Slag* Nikel Terhadap Nilai CBR Lapis Pondasi Bawah”

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, penulis dapat merumuskan masalah yaitu:

1. Bagaimana pengaruh substitusi agregat alam lolos saringan no.200 dengan limbah *Slag* nikel terhadap nilai CBR pada lapis pondasi bawah dengan masing-masing variasi persen campuran substitusi?
2. Berapa persentase komposisi limbah *Slag* nikel yang menghasilkan nilai CBR tertinggi dan memenuhi standar spesifikasi teknis sebagai material lapis pondasi bawah?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan :

1. Untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah *Slag* nikel terhadap nilai CBR pada lapis pondasi bawah (*subbase*) dengan masing-masing variasi persen campuran substitusi.
2. Untuk menentukan berapa persentase komposisi limbah *Slag* nikel yang dapat menghasilkan nilai CBR yang tertinggi dan memenuhi standar spesifikasi teknis sebagai lapis pondasi bawah.

1.4 Manfaat Penelitian

- a. Manfaat bagi penulis.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi, menambah wawasan dan pengetahuan penulis maupun pembaca mengenai konstruksi jalan khususnya mengetahui layak atau tidak layaknya limbah *Slag* nikel yang digunakan sebagai bahan pengganti agregat alam pada campuran lapisan pondasi bawah (*subbase course*) konstruksi jalan, serta supaya memberikan pengetahuan tentang bagaimana pengaruh *Slag* nikel terhadap daya dukung dan kualitas lapis pondasi bawah jika menjadi bahan pengganti agregat alam ke dalam campuran *subbase*.

- b. Manfaat bagi institusi seperti universitas, jurusan, dan prodi.

Diharapkan penelitian ini bisa menjadi bahan referensi dan literatur untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan bisa dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya, serta diharapkan menjadi acuan untuk pengembangan inovasi dalam transportasi.

- c. Manfaat bagi lingkungan dan masyarakat.

Diharapkan penelitian ini bisa bermanfaat untuk masyarakat yang menggunakan prasarana transportasi dengan rasa nyaman dan aman, serta diharapkan *slag* nikel menjadi suatu inovasi dalam pengembangan teknologi material alternatif untuk prasarana transportasi ramah lingkungan mengingat *Slag* nikel merupakan limbah hasil produksi nikel yang dapat diolah kembali menjadi material pengganti agregat pada konstruksi perkerasan jalan, sehingga memungkinkan pengurangan limbah produksi nikel di lingkungan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan Masalah akan meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, dilaksanakan dalam skala laboratorium, bukan pada skala lapangan atau uji coba langsung terhadap perkerasan jalan sebenarnya
2. Penelitian ini berfokus pada uji mekanis yang dilakukan hanya terbatas pada CBR (*California Bearing Ratio*) laboratorium dengan keadaan sampel direndam air (*soaked*) dan juga dalam kondisi yang tidak direndam air (*Unsoaked*) sebagai indikator daya dukung lapis pondasi bawah konstruksi jalan.
3. Penelitian ini hanya mengkaji pengaruh substitusi limbah *Slag* nikel sebagai bahan pengganti abu batu agregat alam pada lapis pondasi bawah jalan.
4. Pengujian menggunakan sampel limbah *Slag* nikel yang diambil dari PT.Baoshuo Taman *Industry Investment Group* Kabupaten Morowali, sebagai agregat pengganti untuk Lapis Pondasi Bawah perkerasan jalan.
5. Penelitian ini menggunakan sampel agregat alam yang diambil dari PT.Hasal Logam Utama, Kota Palu.
6. Variasi persentase substitusi limbah *Slag* nikel yang digunakan adalah 0% (kontrol), 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%.

1.6 Sistematika Penelitian

Untuk memperoleh gambaran tentang penelitian ini, maka penulis menggunakan sistematika penulisan berikut ini ;

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan gambaran umum yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, lingkup bahasan, serta sistematika penelitian.

BAB II Studi Pustaka dan Landasan Teori

Bab ini memuat teori-teori yang akan digunakan sebagai dasar dari penelitian yang akan dilaksanakan.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini berisikan apa saja proses pelaksanaan penelitian di Laboratorium, dimulai dari pemeriksaan material hingga pengujian sampel sepenuhnya dilakukan di dalam Laboratorium.

BAB IV Hasil dan pembahasan

Bab ini merupakan intisari dari segala pelaksanaan penelitian di dalam Laboratorium dan dibahas secara rinci dari hasil penelitian yang sudah dilaksanakan di Laboratorium.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil penelitian di Laboratorium, serta saran-saran yang perlu direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Slag* Nikel

Slag nikel merupakan salah satu limbah padat industri hasil pengolahan bijih nikel yang komposisi kimianya terdiri dari Silika 41,47%, Ferri Oksida 30,44%, dan Alumina 2,58%. Dengan komposisi kimia Silika yang cukup besar pada *Slag* nikel, diharapkan proses hidrasi yang terjadi antara campuran agregat membentuk *interface* (interaksi antar permukaan agregat dalam campuran) yang lebih baik dan bisa lebih kuat untuk mengikat antar agregat di suatu campuran lapis pondasi.

Proses peleburan bijih nikel diawali dari bentuk cair dari *Slag* dengan temperatur kisaran $\pm 1550^{\circ}\text{C}$, yang dikeluarkan melewati *Slag runner* ke kolam granulasi (*Slag granulation pond*) kemudian *Slag* cair yang mengalir tersebut akan mengalami pendinginan. Metode pendinginan pada pengolahan *Slag* terdapat 2 proses dimana dibantu dengan semprotan air dengan tekanan tinggi untuk memecah ukuran *Slag* sehingga terbentuk *granule* (butiran- butiran) dan pendinginan dengan udara, dimana ukuran butir agregat limbah *Slag* nikel bisa diatur dengan *stone crusher* (alat pemecah batu) yang mana material granular dari *Slag* nikel ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi dalam campuran agregat pada lapis pondasi bawah karena sifat fisik dan kimia yang khas dari *Slag* nikel (Bethary & Intari, 2022).

Penelitian ini akan berfokus pada penambahan *Slag* nikel sebagai material substitusi dalam campuran lapis pondasi bawah (*Subbase Course*) untuk mendapatkan nilai CBR yang tinggi, guna memperoleh stabilitas pondasi jalan yang tinggi. Beberapa penelitian tentang *Slag* nikel pada karakteristik campuran perkerasan jalan telah dilaksanakan sebelumnya antara lain Pengujian *Slag* Nikel Dalam Campuran HRS-Base (Arruantasik Demmalino dkk., 2020), Pengujian *Slag* Nikel Dalam Campuran AC-Base (Angka & Kushari, 2017). Sesuai karakteristiknya, meskipun permukaan *Slag* nikel cenderung mulus, tetapi diharapkan dapat mengikat dengan baik antar partikel agregat alam dengan material *Slag* nikel sehingga mampu meningkatkan kualitas perkerasan jalan dan memberi pengaruh baik terhadap peningkatan nilai daya dukung.

Slag nikel tidak termasuk dalam kategori limbah berbahaya, dimana logam yang terkandung dalam *Slag* nikel hasil pendinginan tidak masuk kategori limbah yang berbahaya berdasarkan SK Kementerian Lingkungan Hidup No. B 6152/Dep. IV/LH/08/2010 dan 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, termasuk *slag* nikel tetapi dengan syarat memenuhi uji karakteristik di laboratorium . Perlunya penanganan khusus untuk mengurangi deposit dari limbah *Slag* nikel mengingat besarnya jumlah deposit yang dihasilkan dari kegiatan industri penambangan nikel setiap tahunnya, maka perlu dimanfaatkan agar dapat menjadi nilai tambah dengan menjadi material pengganti agregat dalam campuran *subbase* (Syaharuddin dkk., 2021).

2.2 Agregat

2.2.1 Definisi Agregat

Agregat/batuan didefinisikan secara umum adalah sebagai formasi kulit bumi yang keras dan pejal, atau merupakan suatu bahan yang terdiri atas mineral padat, berupa masa besar maupun fragmen-fragmen (Sukirman, 1999). Agregat adalah batu pecah, kerikil, pasir atau komposisi mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil pengolahan (penyaringan, pemecahan), yang merupakan bahan utama konstruksi jalan.

Agregat adalah sekumpulan buah butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa akibat alamiah maupun buatan (SNI-03-1737, 1989). Agregat sebagai bahan utama untuk struktur jalan, merupakan penentu utama untuk kapasitas daya dukung atau ketahanan suatu perkerasan jalan dimana komposisinya terdiri atas sekumpulan butir batu pecah beserta pasir dan mineral yang lain baik hasil dari alam (agregat konvensional) maupun buatan sebagai limbah dari proses industri (*Slag*). Agregat memiliki peranan yang sangat penting dalam pembentukan lapis perkerasan, yang mana agregat jadi komponen material dengan persentase berat dan volume terbesar dalam campuran, yaitu berkisar antara 90%-95% dari total berat campuran atau 75%-85% dari total volume campuran (Bethary & Intari, 2022).

Salah satu sifat agregat yang menentukan kualitas perkerasan jalan adalah kekerasannya. Sifat ini terkait erat dengan ketahanan agregat terhadap beban. Agregat yang keras dapat menghindarkan campuran beraspal dari desintegrasi, seperti pada proses pengangkutan, penghamparan, dan pemadatan (Syamsul dkk.,2007). Oleh karena itu, daya tahan, stabilitas, daya dukung, dan mutu perkerasan jalan sangat ditentukan oleh pemilihan agregat dengan sifat dan kualitas yang baik, yang mana agregat yang digunakan diharapkan dalam keadaan bersih dari segala kotoran, zat-zat organik atau zat lain yang tidak dikehendaki karena memungkinkan mengurangi performa campuran, sehingga harus mengetahui karakteristik material. Selain itu juga mutu perkerasan dipengaruhi oleh ketentuan mutu agregat seperti pada tabel 2.1, yang mana dapat menjadi parameter yang dapat menentukan kualitas lapis pondasi agregat terhadap perannya yang memikul beban lalu lintas dan meneruskannya ke lapis bawahnya (Pareda, 2016).

Tabel 2. 1 Ketentuan Mutu Agregat

Sifat-sifat		Metode Pengujian	Batas Maksimum Yang Diizinkan	
			Halus	Kasar
Keausan agregat dengan mesin <i>Los Angeles</i>	100 putaran	SNI 2417:2008	-	6%
	500 putaran			30%
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat	Natrium	SNI 3407:2008	10%	12%
	Magnesium		15%	18%
Gumpalan lempung dan partikel yang mudah pecah		SNI 03-4141-1996	3%	0,5%
Bahan yang lolos saringan No.200		SNI ASTM C117:2021	5% untuk kondisi umum, 3% untuk kondisi permukaan terabrasi	0,5%
Bahan Ringan (<i>lightweight material</i>)		SNI ASTM C123:2012	-	0,2%
Batu Bara dan Lignit (<i>coal and lignite</i>)				
Struktur beton terekspos		SNI ASTM C123:2012	0,5%	-
Struktur beton lainnya			1,0%	-
Kotoran Organik		SNI 2816:2014	Pelat Organik No.3	-

Sumber : (Bina Marga, 2025)

2.2.2 Jenis-Jenis Agregat

Menurut Sukirman (2010), dalam menentukan pilihan jenis agregat yang cocok digunakan pada lapis perkerasan, perlu diperhatikan karakteristik penting agregat yang meliputi gradasi, ukuran, bentuk, tekstur, kebersihan dari partikel asing, daya tahan partikel, kekuatan, dan porositas, serta tekstur permukaan agregat, semuanya berperan dalam menentukan performa jangka panjang perkerasan jalan. Berdasarkan proses pengolahannya, agregat dapat dibedakan menjadi 3, antara lain:

1. Agregat Alam, yaitu agregat yang berasal langsung dari alam yang bentuk partikelnya terbentuk melalui proses erosi dan degradasi. Agregat alam yang sering digunakan yaitu krikil dan pasir.
2. Agregat hasil proses pengolahan, yaitu agregat yang diperoleh dengan proses pemecahan menggunakan alat pemecah batu (*stone crusher*) dengan tujuan diperoleh bentuk partikel bersudut, diharapkan berbentuk kubus, permukaan yang kasar sehingga mempunyai gesekan yang baik, dan bergradasi sesuai dengan ukuran yang dikehendaki.
3. Agregat Buatan (*Slag*), merupakan agregat yang terbuat atas mineral dan kandungan senyawa kimia hasil proses oksidasi yang diperoleh dari hasil penambangan dan pengolahan suatu mineral di pabrik maupun limbah dari tambang seperti *Slag* nikel dan *Slag* baja.

Berdasarkan ukuran gradasi dari proses pemecahan batu (*stone crusher*), agregat dibedakan menjadi 3 macam antara lain :

- a. Agregat Kasar, yaitu kerikil atau agregat yang partikelnya tertahan pada ayakan nomor 8 dan ukuran diameternya $> 2,36$ mm.
- b. Agregat Halus, merupakan agregat yang terdiri dari pasir atau hasil dari ayakan batu pecah yang lolos ayakan nomor 8 dan tertahan pada saringan nomor 200 yang berdiameter 0,0075 mm.
- c. Bahan Pengisi (*Filler*), yang merupakan butiran yang sangat halus yang lolos ayakan nomor 200 berdiameter 0,075 mm, dan minimal 95% dari beratnya harus lolos ayakan nomor 200.



Gambar 2. 1 Agregat

Sumber : (Telehala, 2023)

Sifat-sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan utama konstruksi perkerasan jalan yaitu antara lain :

1. Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan yang dipengaruhi oleh : gradasi, ukuran maksimum, bentuk butir, kadar lempung, tekstur permukaan, kekerasan dan ketahanan (*Toughness* atau *durability*).
2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, yang dipengaruhi oleh porositas karena basah atau jenis agregat.
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh tahanan geser (*Skid resintance*) dan campuran yang memberikan kemudahan dalam pekerjaan (*Bituminous mix workability*) (Hamzah dkk., 2016).

2.2.3 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly Ash (abu terbang) adalah abu yang terdiri dari partikel-partikel yang sangat halus yang merupakan bahan organik hasil dari proses pembakaran batu bara pada boiler pembangkit listrik tenaga uap dan terbentuk menjadi berupa semburan asap dari proses oksidasi dari bahan mineral yang mengandung unsur *pazzolan* yang dapat dijadikan sebagai bahan tambah lateks dan juga sebagai bahan *filler* (bahan pengisi antar rongga agregat) yang diharapkan menghasilkan lapis perkerasan bawah yang berkualitas dan daya dukungnya tinggi, maka kehadiran *Fly Ash* diharapkan dapat menambah kepadatan pada campuran karena meningkatkan daya ikat antar butiran agregat, mengurangi permeabilitas dan diharapkan memiliki stabilitas campuran yang baik (Wiziarti & Rahayu, 2022).

Fly Ash mengandung zat kimiawi seperti unsur oksida dominan berupa SiO_2 50,60%; Al_2O_3 21,90%; SO_3 12,20% dan Fe_2O_3 7,76%. *Fly Ash* yang kaya akan oksida aluminium dan oksida besi yang merupakan bahan baku penting untuk pembuatan koagulan (bahan kimia) . Koagulan berbasis oksida Al dan Fe sudah banyak dipakai dalam proses pengolahan air, karena mampu mengikat partikel-partikel koloid di dalam air sehingga membentuk flok (gumpalan yang lebih besar). Berdasarkan kandungan tersebut, *Fly Ash* dapat dikelola dengan menggunakan konsep daur ulang sehingga tidak menimbulkan kerusakan ekosistem lingkungan (Abidin & Leksono, 2021)

Fly Ash (abu terbang) yang bersifat *pozzolanic* tidak mampu mengikat campuran seperti semen, tetapi adanya pengaruh campuran air dan partikel agregat berukuran halus, ditambah oksida *silica* yang terkandung di dalam *Fly Ash* dan melalui proses kimiawi dengan kalsium hidroksida, akan menghasilkan zat dengan kemampuan sebagai bahan pengikat dan bahan pengisi antar rongga agregat. Jika ditinjau dari segi lingkungan, penggunaan *Fly Ash* berdampak negatif, yaitu terjadi pencemaran udara dikarenakan kehalusan dari butiran *Fly Ash*, sehingga perlu dipertimbangkan proporsional pemakaiannya (Firda dkk, 2021)

Dalam penelitian ini, digunakan *Fly Ash* yang berasal dari abu batu agregat dan *Slag* nikel yang lolos dari saringan No.200 dan tertahan di PAN, seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Abu Terbang Agregat

2.3 Pengujian Slag Nikel & Agregat

Ada beberapa pengujian karakteristik agregat dan *Slag* nikel yang dilakukan di laboratorium yaitu Berat Jenis dan Penyerapan dan Abrasi.

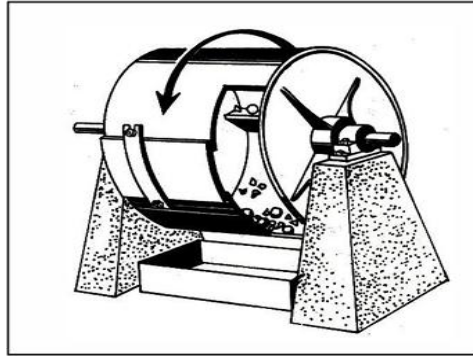
2.3.1 Berat Jenis dan Penyerapan

Berat jenis agregat diperlukan sebagai parameter penunjuk berat dalam mendesain campuran. Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan. Pengukuran volume agregat dalam penentuan berat jenis agregat, dihitung menggunakan hukum Archimedes, yaitu berat benda di dalam air akan berkurang sebanyak berat zat cair yang dipindahkan. Dengan mengasumsikan berat jenis dan berat volume air adalah selalu sama dengan satu, maka volume agregat sama dengan berat zat cair yang dipindahkan (Sukirman, 2016).

2.3.2 Uji Abrasi (*Los Angeles*)

Daya tahan agregat terhadap beban mekanis, ditunjukkan dengan nilai abrasinya, yang nilainya diperoleh dari pengujian abrasi. Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akibat proses mekanis dan kimiawi. Agregat dapat mengalami degradasi, yaitu perubahan gradasi, akibat pecahnya butir-butir agregat. Kehancuran agregat dapat disebabkan oleh proses mekanis, seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan perkerasan jalan (penimbunan, penghamparan, pemadatan), pelayanan terhadap beban lalu lintas, dan proses kimiawi, seperti pengaruh kelembaban, kepanasan, dan perubahan suhu sepanjang hari. Faktor- Faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi yang terjadi sangat ditentukan oleh jenis agregat, gradasi campuran, ukuran partikel, bentuk agregat, dan besarnya energi yang dialami oleh agregat tersebut.

Pengujian abrasi agregat bertujuan untuk menguji keausan daya tahan agregat terhadap beban mekanis dengan menggunakan alat abrasi *Los Angeles*, dengan menggunakan ketentuan dari SNI 2417:2008, yang mana gaya mekanis pada pemeriksaan dengan alat abrasi *Los Angeles* diperoleh dari bola-bola baja yang dimasukkan bersama dengan agregat yang hendak diuji (Sukirman, 2016).



Gambar 2. 3 Alat Abrasi *Los Angeles*
Sumber : (Sukirman S, 2016)

2.4 Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

2.4.1 Pengertian dan Fungsi Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis Pondasi Bawah atau *Subbase Course* merupakan lapis perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi atas dan tanah dasar, yang berfungsi untuk mendukung dan menyebarkan beban kendaraan ke tanah dasar. Lapis pondasi bawah ini harus cukup stabil dan mempunyai CBR sama atau lebih besar dari 20% serta Indeks Plastis (IP) sama atau lebih kecil dari 10% dan berfungsi sebagai lapis peresap agar air tanah tidak berkumpul di pondasi (Sukirman, 2010).

Lapis Pondasi Bawah yang dibangun di atas tanah dasar tersebut memiliki beberapa fungsi yaitu di antaranya :

1. Menyebarkan beban roda kendaraan yang dari lapisan atas ke tanah dasar (*Subgrade*) sehingga mendukung struktur perkerasan.
2. Menyebarkan tegangan yang terjadi akibat beban kendaraan ke lapis tanah dasar.
3. Berfungsi sebagai lapis peresapan supaya air meresap dan tidak berkumpul di pondasi sehingga tidak mempengaruhi kekuatan perkerasan jalan.
4. Lebih mengefisiensi penggunaan material dikarenakan material lapis pondasi bawah lebih murah daripada lapisan di atasnya sehingga dapat mengoptimalkan biaya pengerjaan dan pemeliharaan konstruksi.
5. Mencegah infiltrasi material tanah dasar seperti partikel-partikel halus supaya tidak naik ke lapis pondasi atas, sehingga integritas struktur perkerasan terjaga.

Tujuan penggunaan Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*) di perkerasan jalan yaitu untuk menciptakan lapis perkerasan yang cukup tebal, namun dengan biaya yang lebih ekonomis.

Jenis lapis pondasi bawah yang umum digunakan di Indonesia berserta material yang digunakan harus memenuhi spesifikasi Bina Marga 2025, seperti penggunaan agregat yang bergradasi baik yang dibedakan atas Sirtu kelas A, kelas B, dan kelas C, serta stabilisasi agregat dan stabilisasi tanah dasar. Hal ini sehubungan dengan peran penting dari lapis pondasi bawah untuk meningkatkan kapasitas/daya dukung tanah dasar terhadap beban kendaraan dan alat berat serta melindungi tanah dasar dari faktor cuaca dan kondisi lapangan. Dengan peran penting tersebut, lapis pondasi ini diharapkan dapat meratakan distribusi beban dari lapis pondasi atas ke tanah dasar dan meningkatkan stabilitas keseluruhan struktur perkerasan jalan sehingga dapat memfasilitasi kelancaran proses konstruksi dan pemeliharaan jalan sampai umur rencana perkerasan berakhir.

Untuk penentuan spesifikasi kepadatan dan kadar air pada lapis pondasi bawah umumnya didasarkan pada hasil uji laboratorium maupun pengujian di lapangan. Pengujian di laboratorium dilaksanakan khususnya untuk menganalisa kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum dari campuran material yang akan dipakai di lapis pondasi bawah, untuk itu pemilihan material yang tepat dan pelaksanaan metode konstruksi yang baik sangat penting untuk kinerja jangka panjang dan daya tahan struktur perkerasan sehingga mempengaruhi lamanya umur rencana jalan.

2.4.2 Material Penyusun Lapis Pondasi Bawah

Terdapat 3 jenis yang berbeda dari Lapis Pondasi Agregat yaitu Kelas A, Kelas B, Kelas C dan Kelas S. Pada umumnya Lapis Pondasi Agregat Kelas A diperuntukkan untuk mutu Lapisan Pondasi Atas yang berada di bawah lapisan beraspal, dan Lapis Pondasi Kelas B adalah untuk Lapis Pondasi Bawah, sedangkan Kelas S digunakan untuk bahu jalan tanpa penutup, serta Kelas C untuk drainase (Bina Marga, 2025).

Bahan-bahan penyusun Lapis Pondasi agregat harus memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu dengan fraksi agregat kasar dan fraksi agregat halus serta filler yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga. Agregat kasar yang

digunakan harus yang tertahan pada ayakan 4,75 mm yang terdiri dari partikel atau pecahan batu yang keras dan awet yang memenuhi persyaratan, dimana bahan yang pecah bila berulang-ulang dibasahi dan dikeringkan tidak boleh digunakan kembali. Sedangkan agregat halus yang lolos ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel pasir alami atau batu pecah halus serta partikel halus lainnya tanpa kandungan *clay* yang memenuhi persyaratan spesifikasi umum. Bahan-bahan penyusun lapis pondasi harus terhindar dari debu lainnya, unsur organik dan gumpalan lempung atau partikel-partikel lain yang tidak dikehendaki dan setelah dipadatkan harus memenuhi ketentuan gradasi atau distribusi ukuran agregat, Dengan memenuhi standar dari spesifikasi Bina Marga tersebut diharapkan lapis pondasi yang dibangun memiliki kualitas serta menjamin ketahanan dan kestabilan pondasi yang berpengaruh pada kinerja jangka panjang struktur perkerasan jalan (Bina Marga, 2025).

Menurut Pedoman Bina Marga, dalam artikel *Penggunaan Tailing Untuk Lapis Pondasi Bawah* (2004), bahan-bahan yang digunakan untuk pekerjaan Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*) dibedakan menjadi bahan-bahan berbutir dipecah (A) atau bahan berbutir belah dan kerikil (B) atau pasir, kerikil, dan lempung alami (C). Bahan-bahan tersebut dijabarkan sebagai ;

1. Lapis Pondasi Bawah Kelas A, berupa batu pecah disaring, didistribusi dan semuanya lolos saringan 3” atau berdiameter 75 mm.
2. Lapis Pondasi Bawah Kelas B, yang terdiri dari campuran batu belah dengan kerikil, pasir, dan lempung yang lolos saringan 2,5” atau 62,5 mm.
3. Lapis Pondasi Bawah kelas C, terdiri dari kerikil, pasir, dan lempung alami yang lolos saringan 1,5” atau berdiameter 37,5 mm.

2.4.3 Gradasi Agregat Lapis Pondasi Bawah

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, yang mana merupakan salah satu sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan perkerasan dan menjadi hal penting dalam menentukan stabilitas perkerasan karena berpengaruh terhadap besarnya volume rongga (*void*), *workability* dan stabilitas dalam campuran (Indira dkk., 2017).

Tabel 2. 2 Gradasi Untuk Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos			
		Lapis Fondasi 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)

Tabel 2. 3 Sifat-sifat Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase

Sifat - sifat		Lapis Fondasi 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 (SNI 1744 : 2012)		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) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah sebanyak 1 atau >1 dan 90% agregat kasar memiliki muka bidang pecah sebanyak 2 atau >2 .
- 2) 55/50 menunjukkan bahwa 55% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah sebanyak 1 atau >1 dan 50% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah sebanyak 2 atau >2 .
- 3) Kelas C digunakan untuk bahu jalan.
- 4) 80/75 menunjukkan bahwa 80% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah sebanyak 1 atau >1 dan 75% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah sebanyak 2 atau >2 .
- 5) Agregat kelas C diperuntukkan untuk bahu jalan.

Untuk mengetahui gradasi tersebut dilakukan pengujian melalui analisa saringan sesuai dengan standar dari BS 812, ASTM C-33, C136, ASTO T.27 ataupun Standar Nasional Indonesia. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2025), Lapis podasi harus memenuhi ketentuan gradasi (pengayakan secara basah) yang diberikan dalam tabel 2.2 dan juga memenuhi sifat-sifat lapis pondasi agregat yang ditunjukkan dalam tabel 2.3.

Distribusi butir-butir agregat dengan ukuran tertentu dari suatu campuran menentukan jenis gradasi agregat, sehingga gradasi agregat dapat dikelompokkan menjadi agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk (Sukirman, 2010)

Bangki & Jamaluddin (2020) menyatakan gradasi agregat secara umum dapat dikelompokkan menjadi 3 kategori utama, antara lain :

1. Gradasi Menerus (*Well graded*)

Agregat bergradasi menerus adalah agregat yang ukuran butirannya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir, yang artinya dalam campuran agregat. Agregat bergradasi menerus disebut sebagai agregat bergradasi rapat atau bergradasi baik (*well graded*). Campuran agregat bergradasi menerus mempunyai sedikit rongga sehingga mudah dipadatkan dan memiliki stabilitas tinggi, tetapi kurang *permeable* sehingga kurang kedap air

dan sifat drainase kurang baik. Ukuran butir agregat terbesar yang ada dapat menentukan tingkat stabilitas campuran suatu perkerasan.



Gambar 2. 4 Gradasi menerus (*Continous Grade*)

2. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)

Gradasi seragam adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau ukurannya hampir serupa. Campuran perkerasan yang dibentuk dari campuran agregat yang bergradasi seragam akan memiliki kelenturan yang baik dengan permeabilitas tinggi, tetapi stabilitasnya kecil karena ukuran yang hampir sama sehingga tidak ada yang dapat mengisi rongga-rongga kecil antar agregat kasar.



Gambar 2. 5 Gradasi seragam (*Uniform Grade*)

3. Gradasi Senjang (*Poorly graded*)

Campuran agregat yang tidak memenuhi 2 kategori di atas, disebut agregat bergradasi Senjang. Agregat bergradasi senjang atau yang biasa disebut bergradasi buruk (*poorly graded*) yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan yaitu gradasi celah (*Gap Graded*) yang merupakan campuran agregat dengan satu fraksi hilang atau satu fraksi sedikit sekali, dengan begitu gradasi senjang ditandai oleh minimnya satu fraksi ukuran tertentu. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan campuran lapisan perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis gradasi yang disebutkan di atas.



Gambar 2. 6 Gradasi Senjang (*Gap Grade*)

4. Gradasi terbuka, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga banyak rongga agregat yang tidak saling mengisi dengan baik.

Berdasarkan ukuran butir agregat yang dominan menyusun campuran, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas :

- Agregat bergradasi kasar adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar.
- Agregat bergradasi halus adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus (Sukirman, 2010).

Sifat-sifat agregat dari 3 jenis gradasi tersebut dapat dilihat di Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Sifat Agregat Campuran

Sifat	Agregat Bergradasi Buruk	Agregat Bergradasi Baik
Stabilitas	Buruk	Baik
Permeabilitas	Baik	Buruk
Tingkat Kepadatan	Buruk	Baik
Rongga pori	Besar	Sedikit

Sumber : (Sukirman S, 2010)

2.5 Pengujian Lapis Pondasi Bawah

2.5.1 Analisa Saringan

Gradasi agregat merupakan salah satu sifat agregat yang dapat diperoleh dari hasil pengujian Analisa Saringan sesuai ketentuan dan persyaratan yang diinginkan. Dari pengujian Analisa Saringan diperoleh distribusi ukuran butir agregat atau gradasi yang diinginkan sesuai persyaratan, yang mana gradasi merupakan sifat penting agregat yang sangat berpengaruh pada mutu perkerasan jalan secara keseluruhan. Jadi, Analisa Saringan adalah cara mekanis di laboratorium untuk menganalisa distribusi ukuran butiran tanah berbutir kasar atau yang tertahan saringan nomor 200 (Sukirman, 2016).

Gradasi agregat adalah pembagian ukuran butiran yang dinyatakan dalam persen dari berat total campuran. Batas gradasi diperlukan sebagai batas toleransi dan sebagai cara untuk menyatakan bahwa agregat yang terdiri atas fraksi kasar, sedang dan halus dengan suatu perbandingan tertentu sesuai persyaratan.

Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan, yang mana contoh agregat harus melalui satu set ayakan. Satu set ayakan umumnya terdiri dari ayakan berukuran 4 inci, 3½ inci, 3 inci, 2½ inci, 2 inci, 1½ inci, 1 inci, ¾ inci, ½ inci, 3/8 inci, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, dan No.200. Ayakan berukuran

bukaan paling besar (4 inci) diletakkan paling atas, dan yang paling halus (No.200) terbawah sebelum PAN yang menjadi tempat lolos saringan no.200.



Gambar 2. 7 Satu Set Ayakan

Sumber : (Sukirman S, 2016)

Tabel 2. 5 Ukuran Bukaan Ayakan Berdasarkan AASHTO

Ukuran Ayakan	Bukaan Ayakan (mm)
4 inci	100
3 ^{1/2} inci	90
3 inci	75
2 ^{1/2} inci	63
2 inci	50
1 ^{1/2} inci	37,5
1 inci	25
¾ inci	19
½ inci	12,5
3/8 inci	9,5
No.4	4,75
No.8	2,36
No.16	1,18
No.30	0,6
No.50	0,3
No.100	0,15
No.200	0,075

Sumber : (Sukirman S, 2016)

Ukuran ayakan dalam ukuran panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor ayakan menunjukkan jumlahnya bukaan dalam 1 inci panjang. Ukuran maksimum butir agregat dapat dinyatakan dengan menggunakan:

1. Ukuran maksimum agregat, yaitu menunjukkan ukuran ayakan terkecil dimana agregat yang lolos ayakan tersebut sebanyak 100%.
2. Ukuran nominal maksimum agregat, menunjukkan ukuran ayakan terbesar dimana agregat yang tertahan ayakan tersebut sebanyak tidak lebih dari 10% dan atau ukuran maksimum agregat adalah satu ayakan yang lebih kasar dari ukuran nominal maksimum.

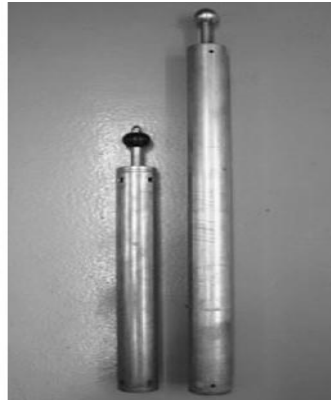
2.5.2 Uji Pemadatan

Uji pemadatan atau disebut juga Uji *Proctor* adalah metode pengujian tanah untuk menentukan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*) agar dapat mencapai kepadatan kering maksimum (*Maximum Dry Density*). Dikarenakan uji CBR Laboratorium dilakukan pada kondisi campuran kering yang kepadatannya maksimum yang diperoleh pada saat kadar air optimum, sehingga dibutuhkan uji pemadatan di Laboratorium untuk menghasilkan berat volume kering maksimum yang dicapai pada kadar air tertentu. Pengaruh adanya uji pemadatan ini yaitu memperkecil pengaruh air pada tanah, meningkatkan kuat geser tanah, mengurangi volume tanah sebagai hasil perubahan kadar air akibat penumbukkan serta meminimalisir daya rembes air (Ariana dkk, 2021)

Menurut Prihatono (2011), pemadatan tanah yaitu proses naiknya kerapatan tanah dengan meminimalkan jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara. Pemadatan merupakan proses pengeluaran udara dari pori-pori tanah sehingga butiran tanah/campuran akan padat. Di Laboratorium, pemadatan dapat dilakukan dengan dua metode, yakni pemadatan *Standar Proctor* dan *Modified Proctor* yang tujuannya sama yaitu mencari kadar air optimum, tetapi untuk lapis perkerasan *subbase course* dipakai pemadatan *Modified Proctor*.

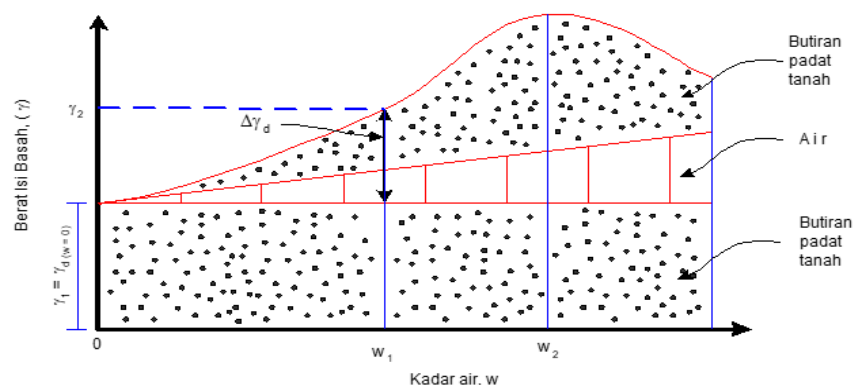
Uji pemadatan sangat dipengaruhi oleh kadar air, jenis tanah/campuran, serta usaha yang diberikan pada saat penumbukkan. Semakin tinggi usaha yang diberikan maka berat volume kering yang dihasilkan akan semakin tinggi pula. Usaha yang diberikan (energi pemadatan) sangat bergantung pada jumlah tumbukan perlapisan,

jumlah lapisan, volume cetakan, berat penumbuk, dan tinggi jatuh penumbuk (Nurmaidah & Suranto, 2022).



Gambar 2. 8 Penumbuk *Modified Proctor* (kanan)
Sumber : (Das, 1994)

Bowles (1996) menjelaskan bahwa pemadatan merupakan usaha untuk memperlengkap kerapatan partikel material dengan penggunaan energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Di laboratorium benda uji untuk mendapatkan pengendalian kualitas material, dipadatkan dengan menggunakan daya tumbukan berupa alat penumbuk, atau tekanan statik yang menggunakan piston dan mesin tekanan.



Gambar 2. 9 Hubungan antara Berat isi basah dan Kadar air
Sumber : (Das, 1995)

2.5.3 *California Bearing Ratio*

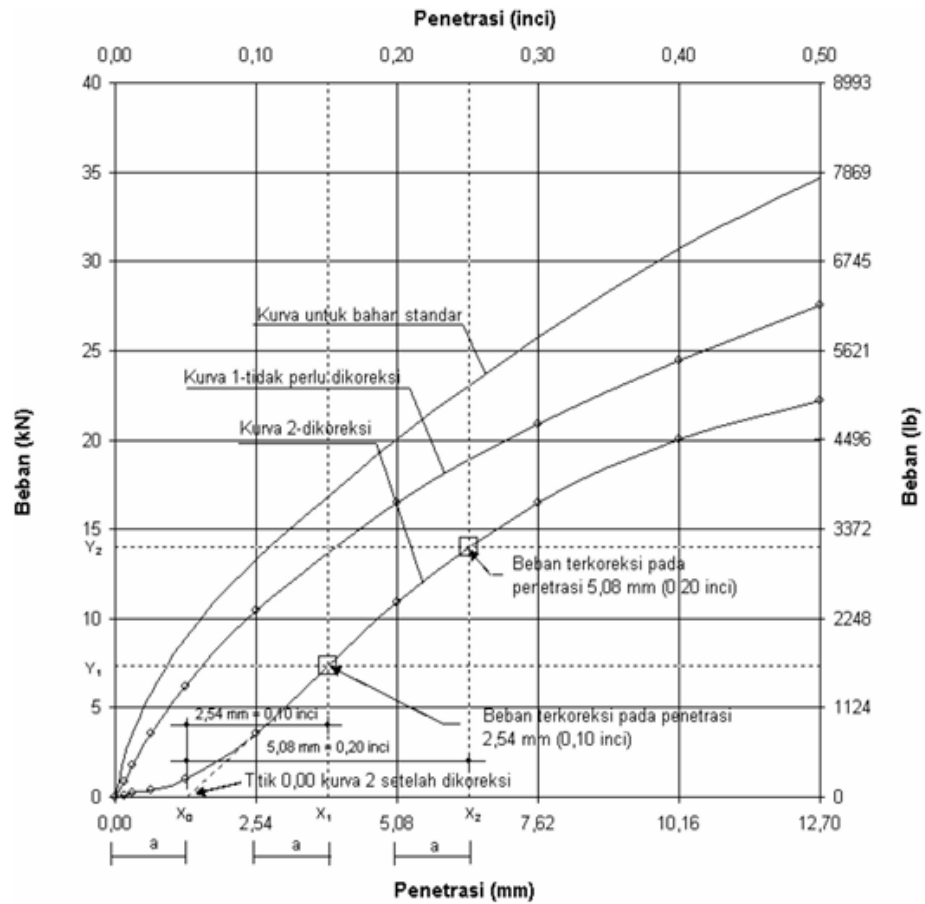
Untuk mengetahui kualitas atau daya dukung lapisan perkerasan jalan yaitu dengan cara uji CBR. CBR atau *California Bearing Ratio* adalah metode pengujian daya dukung tanah dasar yang dikembangkan oleh *California State Highway Department*, yang digunakan sebagai dasar perencanaan perkerasan timbunan jalan

selanjutnya. Semakin tinggi nilai CBR, semakin baik kondisi tanah dasar. Semakin rendah nilai CBR atau daya dukung tanah, maka semakin turun kinerja perkerasan jalan sehingga akan cepat mengalami kerusakan.

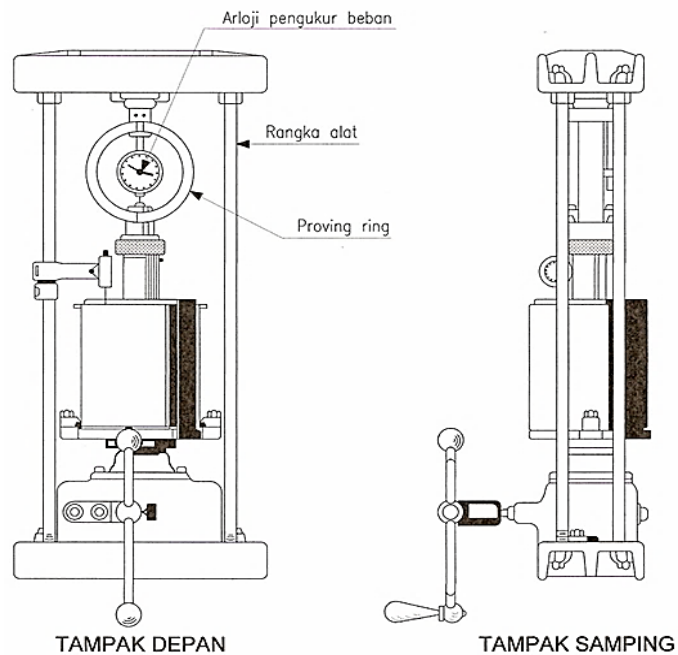
Nilai CBR dapat didukung dengan pengujian pemadatan, yang dalam pelaksanaannya akan mencari parameter nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*) dan Berat Isi Kering Maksimum (*Maximum Dry Density*). Nilai CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar antara 0,1” dan 0,2” dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1” dan 0,2” tersebut. Jadi harga CBR dapat menyatakan perbandingan kualitas tanah dasar terhadap material standar berupa batu pecah yang dalam menahan beban kendaraan. Nilai CBR dalam perkerasan jalan dijadikan sebagai parameter esensial untuk menghitung daya dukung tanah dasar, yang mana bila tanah dasar memiliki nilai CBR yang tinggi, memungkinkan pengurangan ketebalan lapisan perkerasan sehingga dapat meminimalkan biaya pembangunan jalan supaya lebih ekonomis. Sebaliknya, bila tanah mempunyai nilai CBR yang rendah maka perlu penambahan ketebalan lapis perkerasan sehingga kekuatan perkerasan lebih tahan lama. Nilai CBR didapatkan dengan 2 metode yakni CBR di lapangan dan dengan uji laboratorium, di laboratorium CBR dapat dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode rendaman air (*Soaked*) dan metode tanpa rendaman air (*Unsoaked*) (Karoeboka dkk, 2018).

Menurut SNI 1744:2012, CBR merupakan perbandingan antara beban penetrasi suatu jenis material dan beban standar pada kedalaman serta kecepatan penetrasi yang sama. Analisis CBR perlu dilaksanakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku guna memastikan pemahaman insinyur terhadap pengoptimalisasi kinerja perkerasan, sehingga dapat memastikan keseimbangan antara durabilitas, ketahanan, dengan efisiensi biaya (Junaidi, 2022).

Kurva yang menunjukkan hubungan antara beban dan penetrasi ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Hubungan antara beban dan penetrasi CBR
Sumber : (SNI 1744:2012)



Gambar 2. 11 Alat Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)
Sumber : (SNI 1744:2012)

Menurut (Sukirman, 1999), alat percobaan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inci yang digerakkan dengan kecepatan 0,05 inci/menit dengan arah vertikal ke bawah yang dinamakan dengan *Proving Ring*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan alat *arloji* pengukur (*dial*). Beban yang dipergunakan untuk melakukan penetrasi bahan standar diperlihatkan pada tabel berikut :

Tabel 2. 6 Nilai beban yang dipergunakan untuk melakukan Penetrasi Bahan.

Penetrasi (<i>Inch</i>)	Beban Standar (<i>lbs</i>)	Beban Standar (<i>lbs/inch²</i>)
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	2300
0,5	7800	6000

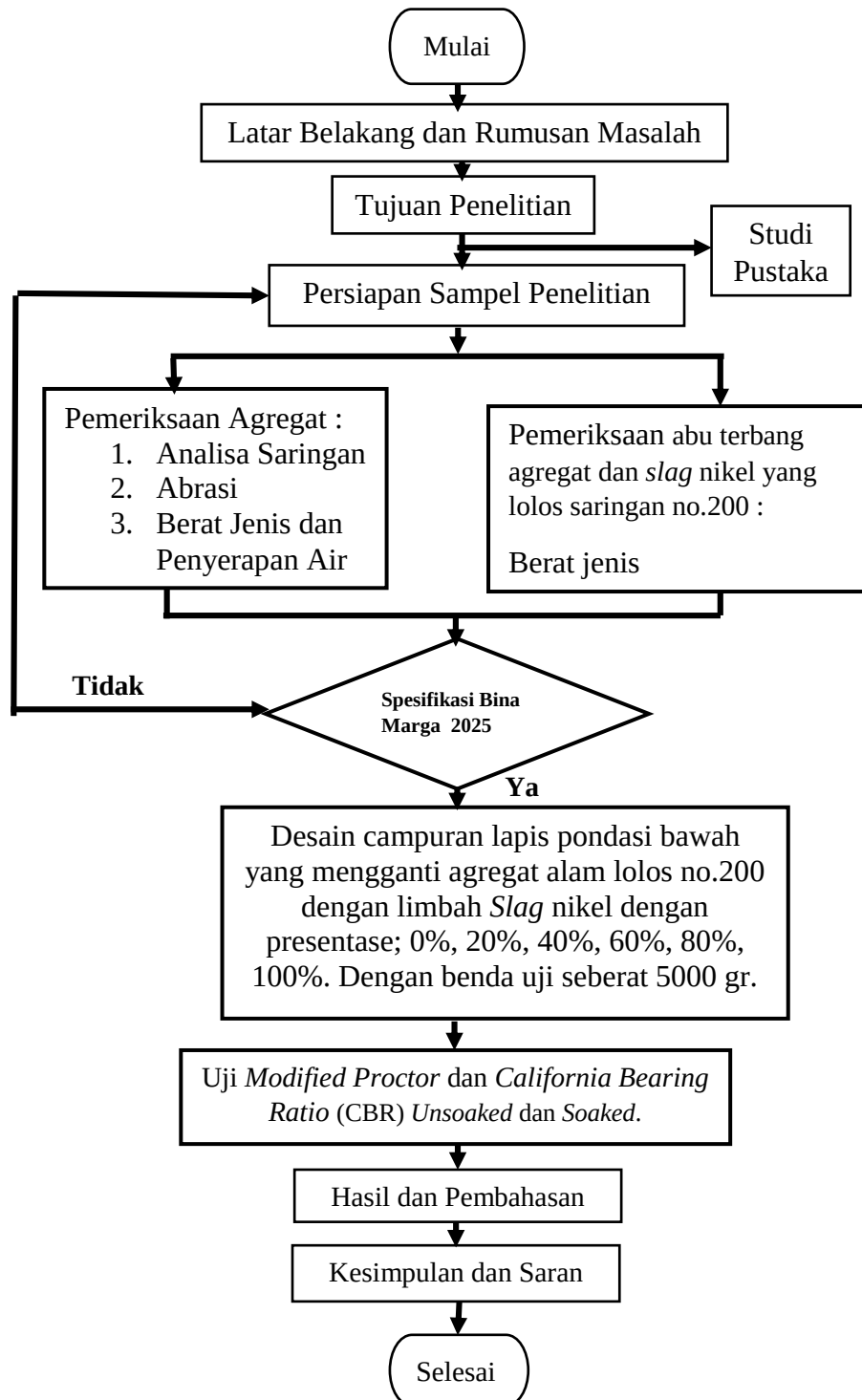
Sumber : (Sukirman, 1999)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Penelitian

Urutan kegiatan penelitian disajikan dalam suatu bagan alir pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Alir (*Flowchart*) Penelitian

3.2 Studi Pustaka

Sebelum memulai penelitian, serangkaian tahap persiapan dilakukan untuk menjamin keyakinan hasil. Proses ini meliputi studi pustaka, pencarian literatur terkait penelitian sebelumnya, *survey* area lokasi pengambilan sampel, menyiapkan peralatan pengujian, persiapan spesimen, dan pelaksanaan pemeriksaan laboratorium. Tahap akhir diakhiri dengan langkah penting berupa analisis data menyeluruh dan memperhatikan kaidah atau spesifikasi yang berlaku.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

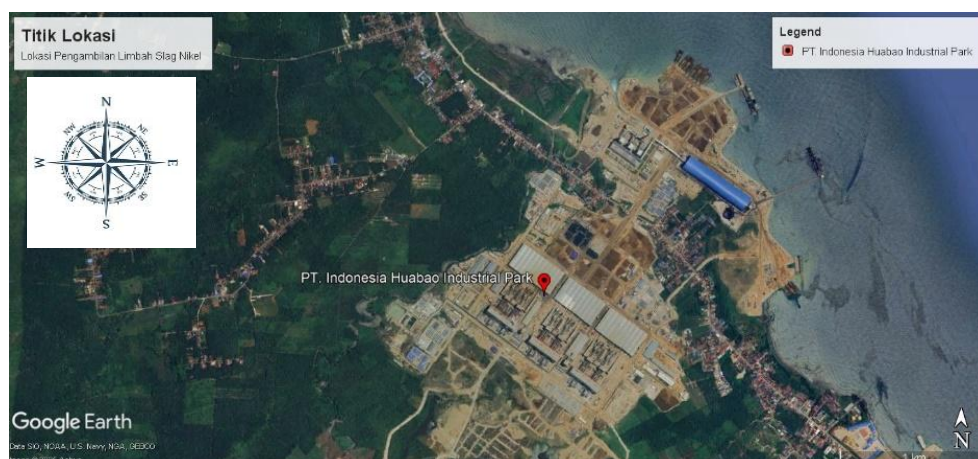
Pada penelitian ini penulis menggunakan data primer melalui studi eksperimental di laboratorium dengan menggunakan sejumlah benda uji yang disiapkan kemudian diuji. Proses ini melibatkan metode untuk memastikan data yang dihasilkan secara akurat. Hal ini dilakukan agar hasil penelitian lebih meyakinkan dan bermanfaat.

3.4 Pengambilan Material

Sebelum melakukan pengujian di laboratorium, terlebih dahulu harus mempersiapkan bahan atau sampel yang akan digunakan untuk pengujian.

3.4.1 Lokasi Pengambilan Limbah *Slag* Nikel

Limbah *Slag* nikel yang digunakan adalah hasil dari peleburan bijih nikel diproduksi oleh PT. IHIP (*Indonesia Huabao Industrial Park*) yang berlokasi di Desa Topogaro, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah.



Gambar 3. 2 Lokasi Pengambilan *Slag* Nikel
Sumber: (*Google Earth*, 2025)

3.4.2 Metode Pengambilan Limbah *Slag* Nikel

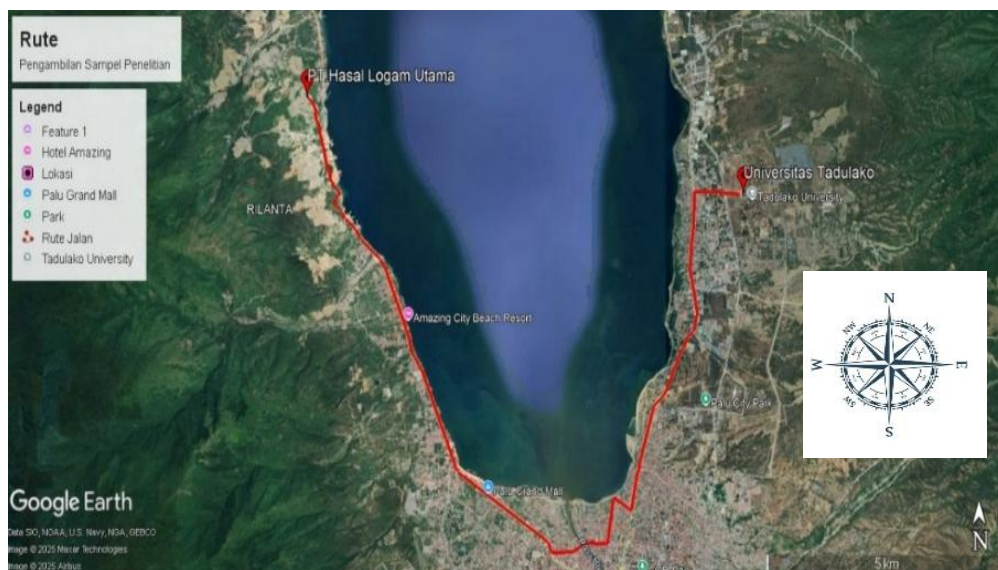
Material yang diambil merupakan material yang metode pendinginannya dengan udara, dimana ukuran butir agregat limbah *Slag* nikel bisa diatur dengan alat pemecah batu (*stone crusher*). Pengambilan material dilakukan dengan cara sederhana pada titik dan ukuran yang berbeda kemudian dimasukkan ke dalam karung yang berbeda-beda juga agar tidak tercampur. Setelah dimasukkan ke dalam karung, karung tersebut kemudian diikat menggunakan tali agar aman dan tidak tumpah selama perjalanan dari lokasi pengambilan menuju lokasi pengujian.



Gambar 3. 3 Pengambilan Limbah *Slag* Nikel

3.4.3 Lokasi Pengambilan Agregat

Lokasi pengambilan material konvensional berada di PT. Hasal Logam Utama, Watusampu, Kec. Palu Barat, Kota Palu, Sulawesi Tengah.



Gambar 3. 4 Lokasi Pengambilan Agregat
Sumber: (Google Earth, 2025)

3.4.4 Metode Pengambilan Agregat

Agregat yang akan diambil telah diproses dengan alat pemecah batu (*stone crusher*). Pengambilan material dilakukan pada *stockpile* yang berbeda yang memiliki ukuran butiran agregat yaitu batu pecah 1/2", 2/3", 3/5", 3/8", abu batu, dan sirtu. Pengambilan material dilakukan menggunakan sekop kemudian dimasukan ke dalam karung yang berbeda lalu diikat dan diberi tanda. Setiap fraksi agregat yang berbeda akan ditempatkan pada karung yang berbeda agar tidak tercampur.



Gambar 3. 5 Pengambilan Agregat

3.4.5 Lokasi Pengujian

Pengujian dan persiapan sampel dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Tadulako.



Gambar 3. 6 Lokasi Pengujian

Sumber: (Google earth, 2025)

3.5 Pengujian Material di Laboratorium

3.5.1 Pengujian Analisa Saringan

Analisa saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat kasar dan agregat halus. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
2. Satu set saringan; 50 mm (2"); 37,5 mm (1½"); 25 mm (1"); 9,5 mm (3/8"); No.4 (4,75 mm); No.8 (2,36 mm); No.10 (2 mm); No.16 (1,18 mm); No.40 (0,425 mm); No.200 (0,075 mm).
3. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110-5)°C.
4. Alat pemisah contoh
5. Mesin pengguncang saringan
6. Talam-talam
7. Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat-alat lainnya.

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

$$\text{Persen Tertahan} = \frac{\text{Berat Kumulatif Tertahan}}{\text{Berat Total}} \times 100\%$$

$$\text{Persen Lolos} = 100\% - \text{Persen Tertahan}$$

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. Penting untuk diketahui bahwa nilai berat jenis adalah tidak berdimensi. Pengujian ini bertujuan untuk menilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu agregat kasar, serta angka penyerapan dari agregat.

- 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.

$$\text{Berat jenis curah (bulk specific gravity)} = \frac{BK}{Bj - Ba}$$

- 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.

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry)} = \frac{B_j}{B_j - B_a}$$

- 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.

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

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

$$\text{Penyerapan (absorption)} = \frac{B_j}{B_j - B_k}$$

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 Pengujian Abrasi

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menilai tingkat kekerasan batuan atau ketahanannya terhadap keausan. Secara khusus, pengujian ini mengevaluasi agregat kasar berdasarkan gesekan atau putaran, yang dinyatakan dalam persentase. Mesin abrasi (*Los Angeles*) digunakan untuk prosedur ini. Keausan diukur dengan membandingkan berat material yang telah melewati saringan No. 12 setelah keausan dengan berat aslinya, yang dinyatakan dalam persen.

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

3.5.4 Pengujian Pemadatan Tanah

Metode pengujian pemadatan tanah dilakukan sebagai acuan dalam melakukan pengujian kepadatan tanah maksimum dengan kadar air optimum. Adapun tujuan pengujian ini ialah untuk mengetahui hubungan kadar air dengan kepadatan tanah. Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh cetakan campuran

subbase untuk dilakukan uji *California Bearing Ratio* (CBR). Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Cetakan
- b. Alat penumbuk
- c. Alat pengeluar benda uji
- d. Timbangan
- e. Oven pengering
- f. Pisau Perata
- g. Saringan
- h. Alat pencampur
- i. Cawan

3.5.5 Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR)

Standar pengujian CBR mengacu pada SNI 1744:2012 dalam prosedur pengujian CBR laboratorium. Uji beban statis CBR dengan mesin penetrasi terhadap campuran agregat alam dengan *Slag* nikel dalam kondisi tanpa rendaman air (*unsoaked*) dan kondisi direndam air (*Soaked*), metode ini dilakukan untuk menentukan nilai CBR dan mengetahui potensi penggunaan material pengganti terhadap daya dukung material lapis pondasi bawah konstruksi jalan. Sampel-sampel yang sudah disiapkan dipadatkan terlebih dahulu dengan metode *modified* sebelum diuji CBR. Adapun peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mesin Penetrasi (*leading machine*)
2. Cetakan logam berbentuk silinder
3. Piringan pemisah dari logam (*speaer disk*)
4. Alat penumbuk *modified*
5. Alat pengukur pengembangan (*swell*) yang terdiri dari *keeping* pengembangan yang berlubang-lubang dengan batang pengatur, tripod logam dan arloji penumbuk.
6. Keping beban lubang alur
7. Piston penetrasi
8. Satu buah arloji beban dan satu buah arloji pengukur penetrasi
9. Alat perata
10. Bak untuk merendam sampel

11. Cawan sampel untuk ditimbang dan menentukan kadar air
12. Oven pengering sampel.
13. Peralatan bantu lainnya

Sedangkan pada pengujian CBR *soaked*, sampel yang sudah dipadatkan, terlebih dahulu direndam dalam bak air selama kurang lebih 4 hari untuk mengevaluasi pengembangan (nilai *swell*) dari sampel yang direndam tersebut kemudian diuji penetrasi CBR. Berikut cara perendaman sampel dalam pengujian ini antara lain :

- a. Pemilihan wadah atau bak untuk perendaman, bak yang kedap air dan berukuran luas untuk menampung beberapa sampel.
- b. Pastikan sampel yang telah dipadatkan dalam kondisi padat dan tidak rusak dan tetap berada dalam *mold* silinder.
- c. Rendam *mold* silinder yang berisikan sampel ke dalam bak yang berisi air bersih hingga pori-pori sampel seluruhnya terisi oleh air.
- d. Periksa sampel yang direndam secara berkala selama 4 hari untuk memastikan sampel tetap terendam dalam air dan tidak ada gelembung udara.
- e. Setelah 4 hari, angkat sampel dari bak perendaman dan timbang untuk mendapatkan berat contoh basah (ditimbang dengan *mold* silinder) kemudian sampel tersebut diuji penetrasi.

3.6 Rancangan Campuran

Perancangan campuran pada pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil perkerasan dari campuran limbah *Slag* nikel dan agregat alam lapis pondasi bawah konstruksi jalan. Adapun komposisi campuran antara agregat alam dan limbah *Slag* nikel ditentukan untuk mendapatkan suatu komposisi campuran yang memenuhi syarat gradasi, sehingga diperoleh suatu lapis pondasi bawah yang dimana ikatan butir-butir agregat saling mengikat maka melibatkan penentuan proporsi yang tepat antara agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi antar butir agregat. Komposisi ini didesain untuk memenuhi kriteria gradasi yang ditentukan, sehingga menghasilkan lapisan permukaan dengan *interlocking* antar partikel agregat yang kuat. Metode ini dilakukan menggunakan cara percobaan kemudian melakukan perbandingan hasil antara gradasi-gradasi yang diperoleh

dengan gradasi yang telah disyaratkan dan didasarkan pada presentase pemakaian agregat alam dan limbah *Slag* nikel. Melalui metode ini dapat ditentukan jumlah yang tepat pada perkiraan limbah *Slag* nikel sehingga dapat menghasilkan komposisi campuran yang baik dan sesuai dengan persyaratan teknis perkerasan jalan.

Dalam menentukan komposisi campuran dilakukan dengan menggunakan proporsi agregat yang terdiri dari fraksi-fraksi. Campuran dilakukan dengan cara coba-coba dan diawali dengan penyaringan setiap fraksi agregat menggunakan satu set saringan sesuai spesifikasi umum 2025. Setelah data persen lolos setiap ukuran sudah diketahui, maka selanjutnya dibuatkan komposisi agregat dan hasilnya dibandingkan dengan gradasi yang telah disyaratkan, Jika komposisi agregat telah memenuhi spesifikasi, dilanjutkan dengan penentuan setiap fraksi.

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

Pada tabel 3.1, penentuan komposisi campuran agregat dilakukan untuk memperoleh proporsi yang optimal antara agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi guna memenuhi standar gradasi serta menciptakan ikatan partikel yang kuat. Proses ini menerapkan metode *trial and error*, di mana fraksi agregat alam

dengan ukuran 1 inci, 3/8 inci, No.4, No.10, No.40, No.200, dan PAN yang lolos dari No.200 serta limbah *slag* nikel yang lolos saringan No.200 disaring menggunakan set saringan sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah ditentukan.

Setelah persentase lolos dari setiap ukuran saringan diketahui, campuran agregat dirancang dan dibandingkan dengan gradasi yang dipersyaratkan. Jika hasilnya sesuai dengan ketentuan, maka proporsi masing-masing fraksi dapat ditetapkan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengoptimalkan karakteristik campuran agregat agar menghasilkan perkerasan dengan kualitas yang baik, memenuhi standar konstruksi jalan, serta sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek yang direncanakan.

Tabel 3.2 menunjukkan tahapan substitusi limbah *Slag* nikel terhadap agregat alam yang lolos saringan No.200 dalam campuran total seberat 500 gram, dengan variasi persentase sebesar 20%, 40%, 60%, 80% hingga 100%. Substitusi dilakukan dengan mengurangi proporsi agregat yang lolos saringan #200 dan tertahan di PAN secara bertahap, dan jumlah *Slag* nikel yang dimasukkan pada masing-masing variasi diasumsikan setara dengan nilai yang dikurangi. Cara membuat campuran adalah dengan menghitung jumlah *Slag* nikel, contoh untuk variasi 20% limbah *Slag* dimasukkan untuk mengganti 100 gr agregat alam lolos saringan No.200 dari total 500 gr agregat alam lolos saringan No.200, untuk variasi 40% limbah *Slag* dimasukkan untuk mengganti 200 gr ke 500 gr agregat alam lolos saringan No.200, demikian seterusnya sampai variasi 100% limbah *Slag* nikel dimasukkan ke dalam campuran. Pemilihan persentase substitusi limbah *slag* nikel (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) yang agak renggang tersebut dikarenakan pertimbangan waktu dan biaya dalam persiapan sampel *slag* nikel.

Tabel 3. 2 Rancangan Komposisi Substitusi limbah *Slag* Nikel

No.#	(gr)	% dari 5000	0% (gr)	20 % (gr)	40% (gr)	60% (gr)	80% (gr)	100 % (gr)
PAN	500	10	0	100	200	300	400	500

3.7 Analisis Data

Dalam Analisis data ini melakukan dua tahap yaitu:

1. Campuran *subbase* dengan campuran agregat kasar alam, agregat halus alam, dan abu terbang agregat alam yang lolos saringan No.200. Kemudian menukar agregat alam yang lolos saringan No.200 tersebut dengan limbah *Slag* nikel pada campuran *subbase* dengan variasi persentase limbah *Slag* nikel sebesar 0%, 20%, 40%, 60% 80% dan 100% untuk membuat satu benda uji *subbase*. Selanjutnya akan di lakukan pengujian CBR dengan kondisi sampel tidak direndam (*Unsoaked*) dan juga dalam kondisi direndam air (*Soaked*).

Tabel 3. 3 Sampel Pengujian *Unsoaked* dan *Soaked* CBR

Variasi Kadar limbah <i>Slag</i> nikel	Proporsi <i>Slag</i> Nikel lolos saringan #200	Proporsi Agregat Alam lolos saringan #200	Pemadatan <i>Modified Proctor</i>	<i>Unsoaked</i> CBR	<i>Soaked</i> CBR	Total
0%	0 gr	500 gr	5 sampel	2 Sampel	2 Sampel	7
20%	100 gr	400 gr	5 sampel	2 Sampel	2 Sampel	7
40%	200 gr	300 gr	5 sampel	2 Sampel	2 Sampel	7
60%	300 gr	200 gr	5 sampel	2 Sampel	2 Sampel	7
80%	400 gr	100 gr	5 sampel	2 Sampel	2 Sampel	7
100%	500 gr	0 gr	5 sampel	2 Sampel	2 Sampel	7
Total Sampel						54 sampel

2. Kemudian hasil pengujian akan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh variasi persentase limbah *Slag* nikel terhadap CBR atau daya dukung *subbase*, yaitu pada saat kondisi kering sampel tanpa rendaman air dan juga kondisi sampel direndam air.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat dan *Slag* Nikel

Proses pemeriksaan agregat dilaksanakan sesuai dengan spesifikasi yang berlaku dan dilakukan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Kota Palu. Pemeriksaan agregat meliputi pengujian terhadap agregat kasar dan agregat halus yang diambil dari PT.Hasal Logam Watusampu, Kota Palu, dan juga pengujian pada *Slag* nikel yang bersumber dari PT. Indonesia Huabao Industrial Park di Jalan Trans Sulawesi, Desa Topogaro, Morowali, Sulawesi Tengah, Indonesia.



Gambar 4. 1 Bentuk Agregat Alam



Gambar 4. 2 Bentuk *Slag* Nikel

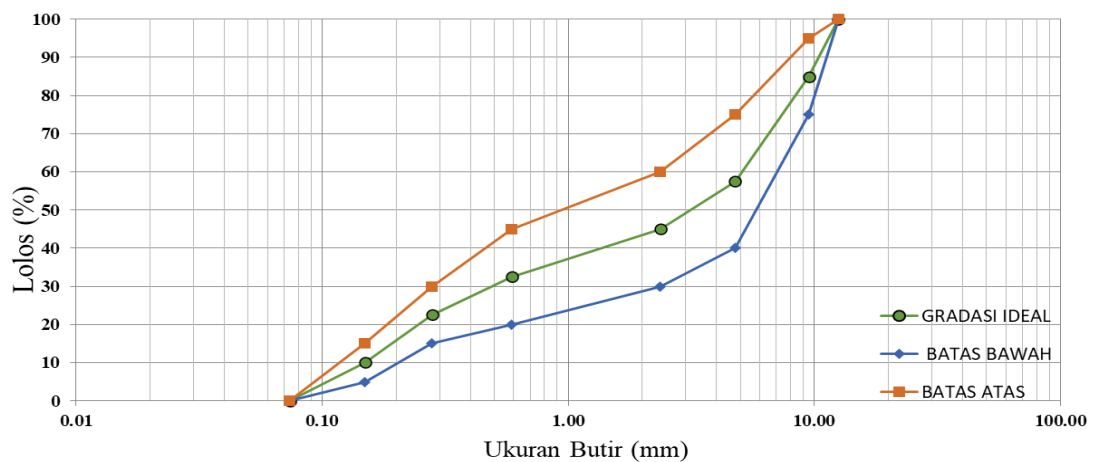
4.1.1 Hasil Analisa Saringan

Pengujian Analisa Saringan dilaksanakan sesuai pada standar SNI ASTM C136-2012 Spesifikasi Bina Marga 2025, dengan menggunakan satu set alat saringan, diketahui persentase berat lolos dan tertahan dari masing masing ukuran bukaan ayakan. Hasil dari pemeriksaan terdapat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil 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

Hasil dari pengujian analisa saringan ditunjukkan pada tabel 4.1, dimana dari masing-masing nomor saringan memiliki spesifikasi minimal dan maksimal yang dirujuk dari SNI ASTM C136-2012 Spesifikasi Bina Marga 2025, didapatkan jumlah proporsi dari fraksi yang lolos dan tertahan masing-masing nomor saringan, sehingga didapatkan berat tertahan yang memiliki total 5000 gr yang merupakan berat campuran satu benda uji, maka kolerasi antara persentase dari rata-rata lolos dengan ukuran butir menghasilkan gradasi ideal seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik Spesifikasi Distribusi Ukuran Butir Lapis Pondasi Agregat Kelas B (Lapis Pondasi Bawah)

4.1.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat dan Slag nikel

Pengujian berat jenis dan penyerapan ini spesifik mengacu pada SNI 1969:2016 untuk penentuan berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar, serta SNI 1970:2016 untuk agregat halus, dengan merujuk pada Spesifikasi Bina Marga 2025. Karakteristik agregat telah diperiksa secara menyeluruh sesuai dengan metode pengujian dan spesifikasi yang diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Hasil lengkap pengujian berat jenis dan penyerapan dalam 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		
	b. Bj. SSD	2.810	> 2,5	-	Memenuhi
	c. Bj. Apperent	2.846	> 2,5		
	Penyerapan Agregat	0.717	< 3	%	
Agregat Halus	Berat Jenis				
	a. Bj. Bulk	2.678	> 2,5		
	b. Bj. SSD	2.713	> 2,5	-	Memenuhi
	c. Bj. Apperent	2.774	> 2,5		
	Penyerapan Agregat	1.285	< 3	%	

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat seperti yang ditunjukkan pada tabel di atas, didapatkan bahwa nilai berat jenis dari agregat kasar cenderung lebih tinggi dibanding dengan agregat halus, berbanding terbalik dengan hasil penyerapan air pada agregat kasar yang lebih rendah dibanding agregat halus. Dari hal itu bisa menarik kesimpulan bahwa semakin besar nilai berat jenis suatu agregat, maka makin kecil nilai penyerapan airnya, mengingat porositas agregat kasar yang lebih rendah dibanding yang agregat halus.

Rata-rata nilai yang didapatkan dari hasil pengujian, semuanya memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan, yang mana nilai berat jenis >2,5 sudah memenuhi speksifikasi Bina Marga 2025, begitu juga hasil dari penyerapan air yang memenuhi speksifikasi karena nilai yang didapat yaitu maksimal 3.

Berikutnya hasil pengujian dari berat jenis abu terbang yang lolos saringan No.200 masing-masing agregat dan *Slag* nikel, didapatkan bahwa hasil berat jenis *Slag* nikel lebih besar daripada nilai berat jenis agregat alam mengingat karakteristik fisik butiran *Slag* nikel yang mempunyai struktur lebih padat dan berat serta memiliki pori yang lebih sedikit dibanding agregat alam yang memiliki porositas yang lebih besar.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Jenis abu terbang Agregat Alam dan *Slag* Nikel

Fraksi	Pengujian	Hasil Pengujian
Abu terbang Agregat Alam	Berat Jenis	2,712
Limbah <i>Slag</i> Nikel lolos saringan no.200	Berat Jenis	3,033

4.1.3 Abrasi Agregat Alam

Metode pengujian abrasi dalam penelitian ini berpedoman pada standar SNI 2417:2008 dan merujuk pada Spesifikasi Bina Marga 2025, adapun alat pengujian tersebut menggunakan mesin abrasi *Los Angeles* dengan 500 kali putaran untuk satu sampel seberat 5000 gram yang terdiri dari campuran fraksi yang tertahan di nomor ayakan $1^{1/2}$, 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, dan $\frac{3}{8}$, kemudian setelah diabrasi, disaring lagi menggunakan ayakan no.12 untuk mencari berat tertahan dan berat lolos dan nilai abrasi yang dicari dihitung dari persentase berat lolos di ayakan nomor.12 dari 5000 gram sampel tersebut.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Abrasi Agregat Alam

Jenis Pengujian	Hasil	Spek.	Satuan	Ket
Abrasi Agregat alam	19,87	< 40	%	Memenuhi

Ditunjukkan pada tabel 4.4, persentase abrasi yang didapat dari agregat yaitu sebesar 19,87% terabrasi dari 5000 gram campuran fraksi, hal ini mengindikasikan bahwa kekuatan mekanis dari agregat alam menghasilkan nilai abrasi yang kecil karena ketahanan fisik agregat terhadap aus yang berasal dari benturan 12 bola baja

saat diputar dalam mesin *Los Angles* dan nilai abrasi yang didapatkan tersebut memenuhi spesifikasi yaitu <40 .

4.2 Uji Pemadatan (*Modified Proctor*)

Sebelum pengujian CBR, uji pemadatan dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum dari sampel yang dipadatkan. Metode pengujian pemadatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode uji pemadatan *Modified Proctor*. Pelaksanaan metode ini diharapkan dapat merepresentasikan energi pemadatan sebenarnya di lapangan, khususnya pada lapis pondasi bawah konstruksi perkerasan jalan. Pada prosedur *Modified Proctor* ini, sampel yang digunakan adalah material yang persentase lolos saringannya sesuai dengan hasil pengujian analisa saringan yang dilakukan sebelumnya dengan berat 5000 gram untuk satu benda uji pemadatan. Setiap variasi benda uji dibuat 5 sampel pemadatan dengan masing-masing kadar air yang berbeda yaitu dari 50 ml, 100 ml, 150 ml, 200 ml, sampai 250 ml dengan tujuan untuk mendapat kadar air optimum pada tiap variasi sampel pengujian. Material yang lolos saringan #200 dan tertahan pada PAN digunakan sebagai *filler* (bahan pengisi) campuran agregat.

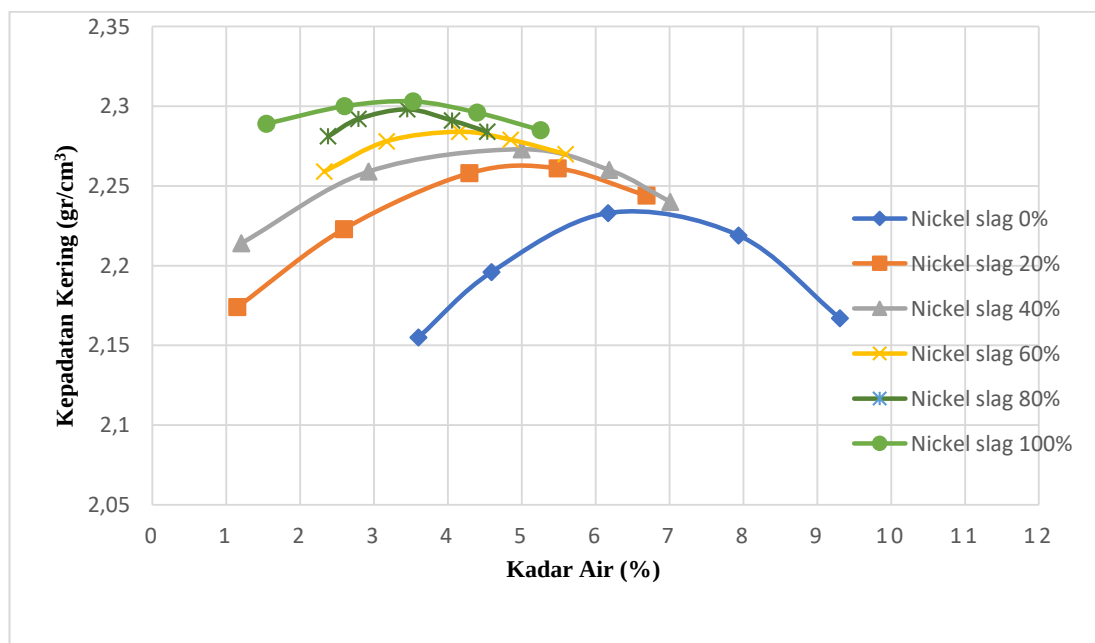
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Pemadatan (*Modified Proctor*)

Kode Sampel	Persentase Limbah <i>Slag</i> Nikel	Kepadatan Kering Maksimum(γ_{maks})	Kadar Air Optimum (w)
		gr/cm ³	%
MP 1	0%	2,234	6,6
MP 2	20%	2,261	5,05
MP 3	40%	2,274	4,55
MP 4	60%	2,284	4,15
MP 5	80%	2,297	3,5
MP 6	100%	2,302	3,25

Kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum di setiap variasi sampel dari hasil pengujian pemadatan *Modified Proctor* campuran dapat dilihat pada Tabel 4.5. Kepadatan kering maksimum mengalami peningkatan seiring

penambahan persentase limbah *Slag* nikel dengan kepadatan kering maksimum meningkat dari 2,234 gr/cm³ (variasi 0%), 2,261 pada variasi 20%, 2,274 pada variasi 40%, 2,284 pada variasi 60% dan 2,297 pada variasi 80% hingga puncaknya di 2,302 gr/cm³ (variasi 100%), namun dengan begitu, kadar air optimumnya menurun dari 6,6% pada variasi 0% sampai ke 3,25% di variasi 100% limbah *slag*.

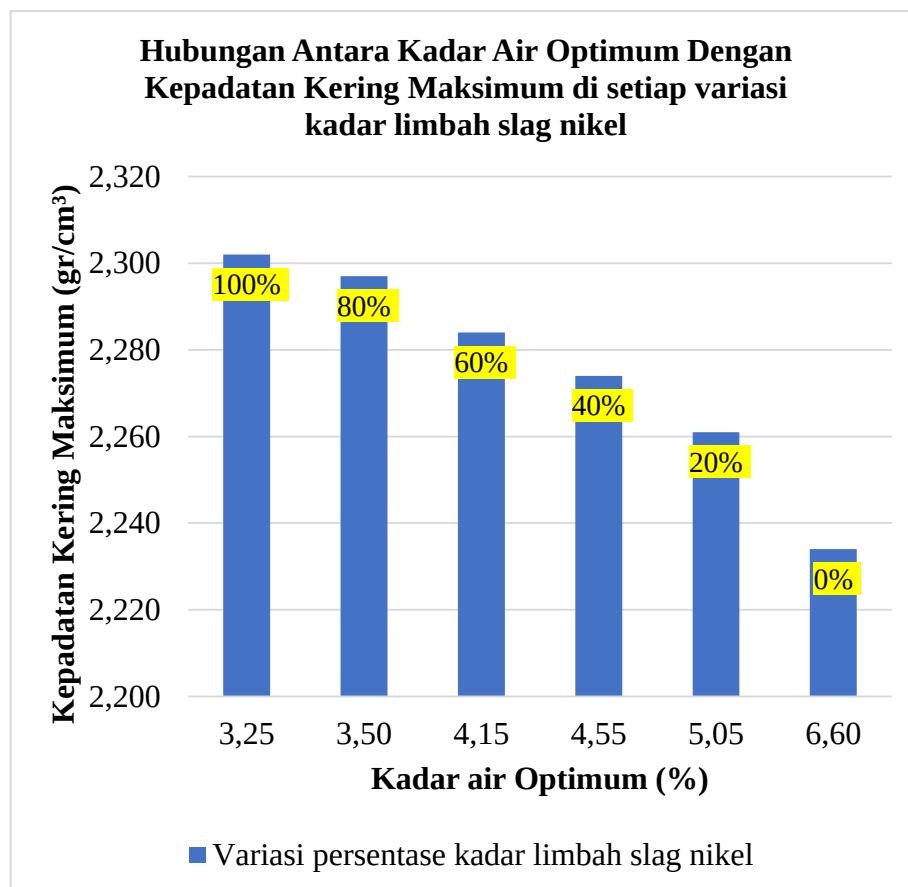
Pada Gambar 4.4, grafik di bawah ini secara eksplisit menunjukkan bahwa peningkatan persentase substitusi limbah *Slag* nikel berpengaruh pada peningkatan nilai Kepadatan Kering Maksimum (MDD) yang dapat dicapai oleh campuran. Pada campuran agregat alam murni, yang direpresentasikan oleh 0% limbah *Slag* nikel, nilai kepadatan kering maksimum tercatat pada titik terendah, tetapi nilai kadar air optimumnya yang paling tinggi. Namun, seiring dengan penambahan substitusi limbah *Slag* nikel hingga mencapai variasi 100%, nilai kepadatan kering maksimum semakin tinggi, namun nilai kadar air optimum semakin berkurang.



Gambar 4. 4 Grafik Kepadatan Kering VS Kadar Air

Dari pengujian pemadatan didapatkan kepadatan kering maksimum (MDD) dan kadar air optimum (KAO) pada masing-masing variasi yang dapat dilihat pada gambar 4.4. Pada variasi 0% *slag* nikel yang diwakili oleh garis berwarna biru, didapatkan kepadatan kering maksimum yaitu 2,234 gr/cm³ dengan kadar air optimum yaitu 6,6%, pada variasi 20% *slag* nikel yang diwakili garis berwarna jingga didapatkan kepadatan kering maksimum 2,261 gr/cm³ dengan kadar air

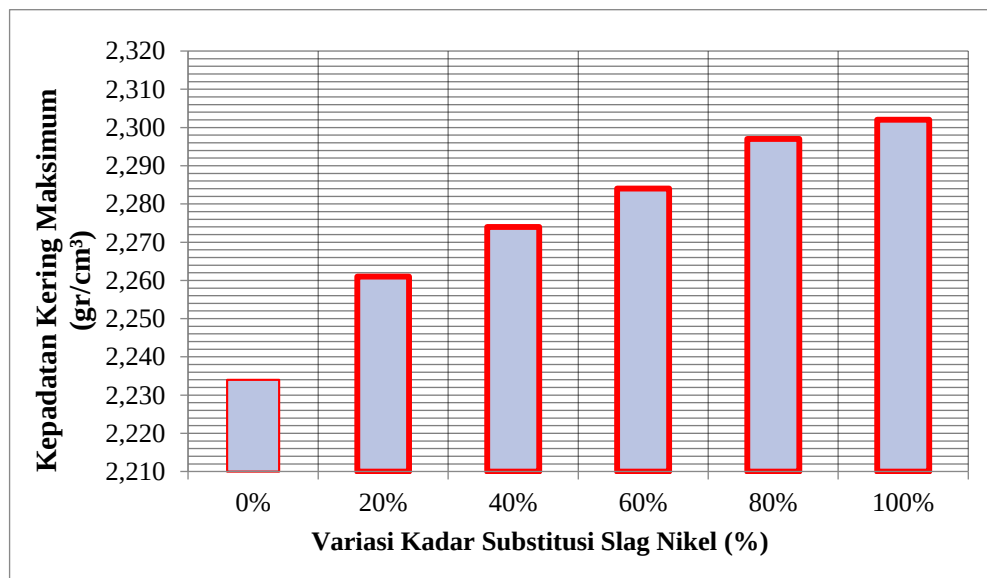
optimum menurun 5,05%, variasi 40% *slag* nikel yang diwakili garis berwarna abu-abu didapatkan kepadatan kering maksimum 2,274 gr/cm³ dengan kadar air optimum menurun 4,55%, variasi 60% *slag* nikel yang diwakili garis berwarna kuning didapatkan kepadatan kering maksimum 2,284 gr/cm³ dengan kadar air optimum menurun 4,15%, variasi 80% *slag* nikel yang diwakili garis berwarna hijau tua didapatkan kepadatan kering maksimum 2,297 gr/cm³ dengan kadar air optimum menurun 3,5%, dan puncaknya yaitu pada variasi 100% substitusi *slag* nikel yang diwakili oleh garis berwarna hijau muda, didapatkan kepadatan kering maksimum mencapai 2,302 gr/cm³ dengan kadar air optimum menurun hingga 3,25%.



Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Antara Kadar Air Optimum Dengan Kepadatan Kering Maksimum Variasi Sampel

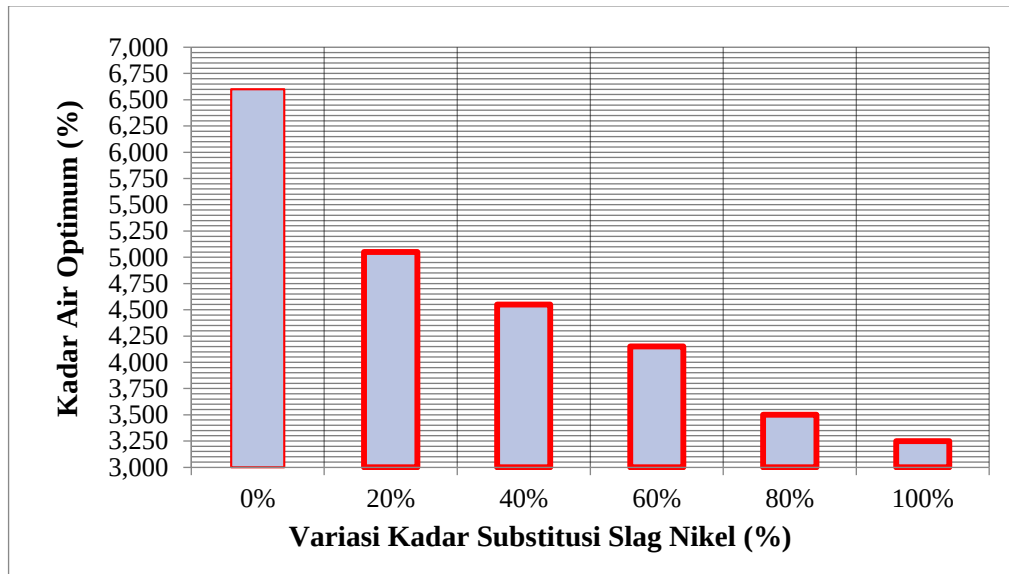
Seiring dengan naiknya nilai kepadatan kering maksimum (MDD), pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada kondisi campuran agregat alam murni (0% *Slag* nikel), KAO diamati berada pada kadar air optimum yang tertinggi. Namun, seiring dengan penambahan persentase limbah *Slag* nikel ke dalam campuran,

puncak kurva kepadatan kering berada di variasi substitusi limbah *slag* nikel 100% yang artinya jika diamati dari kanan ke kiri kurva X, makin tinggi persentase substitusi limbah *slag* nikel, maka KAO cenderung menurun, tetapi kepadatan kering maksimum semakin meningkat. Oleh sebab itu material membutuhkan kadar air yang lebih sedikit untuk mencapai kepadatan maksimumnya. Kondisi kadar air optimum terendah secara jelas teramati pada campuran 100% *Slag* nikel. Penurunan KAO ini disebabkan oleh penyerapan air yang lebih rendah pada partikel *Slag* nikel dibandingkan dengan agregat alam, sehingga mengurangi jumlah air yang diperlukan untuk pemadatan, yang artinya semakin rendah nilai kadar air optimum (KAO), maka semakin tinggi nilai kepadatan kering maksimum (MDD) suatu campuran.



Gambar 4. 6 Pengaruh Kadar Substitusi *Slag* Nikel Terhadap Kepadatan Kering Maksimum

Berdasarkan gambar 4.6 dapat diamati bahwa pengaruh kadar substitusi *slag* nikel terhadap kepadatan kering maksimum (MDD) yang didapat adalah berbanding lurus, artinya semakin banyak kadar *slag* nikel yang disubstitusi ke dalam sampel maka makin meningkat pula nilai MDD yang didapat. Dapat dilihat pada variasi 0% *slag* nikel memiliki nilai MDD yang paling rendah di antara semua variasi yaitu 2,234 gr/cm³ dan pada variasi tertinggi 100% *slag* nikel didapatkan nilai MDD tertinggi yaitu mencapai 2,302 gr/cm³.



Gambar 4. 7 Pengaruh Kadar Substitusi *Slag* Nikel Terhadap Kadar Air Optimum

Sedangkan pada gambar 4.7 dapat diketahui bahwa pengaruh kadar substitusi *slag* nikel berbanding terbalik terhadap kadar air optimum (OMC) yang didapat, artinya semakin banyak kadar *slag* nikel yang disubstitusi ke dalam sampel maka makin rendah kadar air optimum yang didapat. Dapat dilihat pada variasi 0% *slag* nikel memiliki nilai OMC yang paling tinggi di antara semua variasi yaitu 6,6% dan pada variasi tertinggi 100% *slag* nikel didapatkan nilai OMC yang paling rendah yaitu hanya sebesar 3,25%. Hal ini dikarenakan berat jenis dari abu terbang *slag* nikel lebih besar dibanding dengan berat jenis abu terbang agregat alam sehingga memungkinkan rendahnya daya serap air pada abu terbang *slag* nikel, maka rendah pula kadar air yang diserap oleh sampel yang memiliki banyak kadar *slag* nikel.

4.3 Uji *California Bearing Ratio* (CBR)

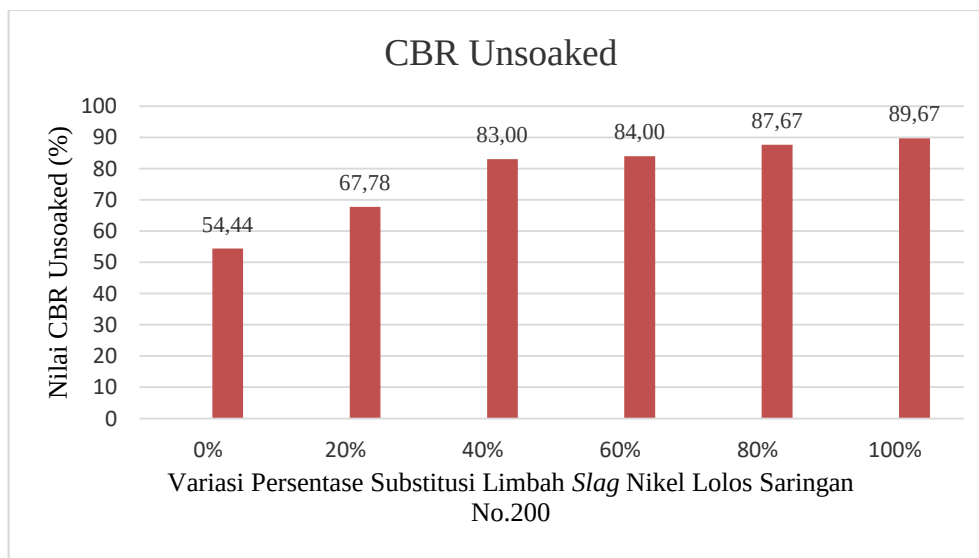
Pada penelitian ini, uji penetrasi CBR statis dilakukan dengan menggunakan mesin penetrasi dalam kondisi tidak terendam di air (*Unsoaked*) dan juga kondisi terendam di air (*Soaked*) pada campuran agregat alam dengan limbah *Slag* nikel di setiap variasi substitusi dengan masing-masing 2 sampel setiap variasi. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui korelasi antara proporsi penambahan *Slag* nikel pada campuran lapis pondasi bawah dengan nilai CBR yang dihasilkan, serta untuk mengidentifikasi persentase substitusi agregat alam dengan *slag* nikel yang mampu

memberikan nilai CBR tertinggi sehingga dapat diketahui kuantitas daya dukung lapis pondasi bawah jika campurannya disubstitusi oleh *Slag* nikel. Dilakukan pengujian CBR pada bagian atas dan bawah sampel dalam kondisi tanpa rendaman (*unsoaked*) dan dengan rendaman air (*soaked*) untuk melihat nilai CBR terbesar yang bisa didapatkan dari dua kondisi tersebut. Dari 2 kondisi CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) dan rendaman (*soaked*) dapat dihitung nilai rata-rata CBR yang tertera pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Rekapitan Hasil Pengujian CBR kondisi *Unsoaked* dan *Soaked*

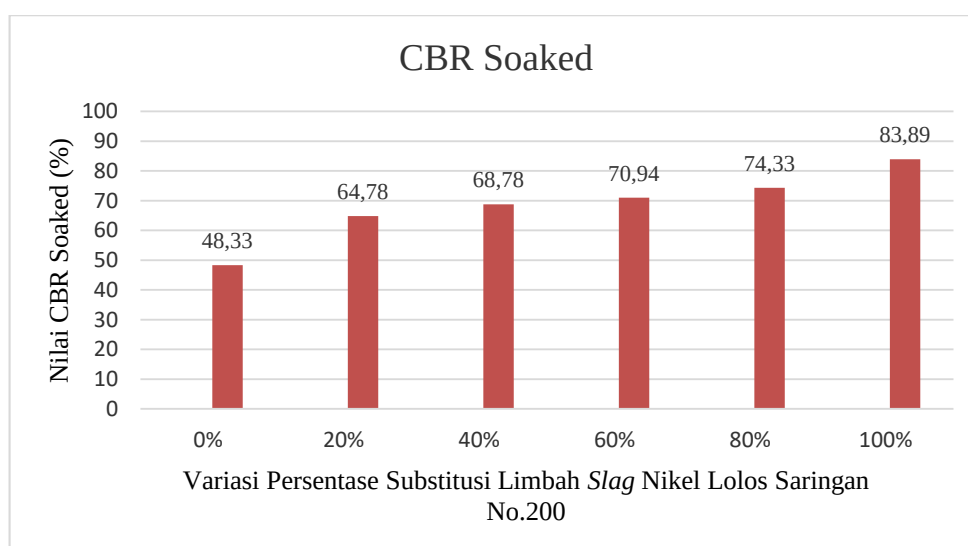
Komposisi limbah <i>Slag</i> Nikel lolos saringan no.200	Kepadatan Kering Maksimum (gr/cm ³)	Kadar Air Optimum (%)	NILAI CBR (%)	
			Tanpa Rendaman (<i>Unsoaked</i>)	Rendaman (<i>Soaked</i>)
0%	2.234	6.6	54.44	48.33
20%	2.261	5.05	67.78	64.78
40%	2.274	4.55	83.00	68.78
60%	2.284	4.15	84.00	70.94
80%	2.297	3.5	87.67	74.33
100%	2.302	3.25	89.67	83.89

Dari tabel 4.6, didapatkan bahwa nilai CBR *Unsoaked* dan CBR *Soaked* mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan kepadatan kering setiap sampel yang dihasilkan melalui pengujian pemadatan menggunakan metode *Modified Proctor*. Peningkatan nilai CBR ini berbanding lurus dengan bertambahnya persentase substitusi limbah *Slag* nikel. Hasil CBR optimal yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2025 teramati pada sampel dengan variasi substitusi 20% sampai 100% *Slag* nikel. Terlihat pada komposisi 0% *slag* nikel nilai CBR tanpa rendaman berada di 54,44% dan CBR rendaman berada di 48,33% yang menunjukkan bahwa CBR tersebut tidak masuk spesifikasi Bina Marga 2025 (untuk CBR rendaman <60), sedangkan pada komposisi 100% *slag* nikel nilai CBR tanpa rendaman berada di 89,67% dan CBR rendaman berada di 83,89% yang menunjukkan CBR tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2025. Data ini menunjukkan peningkatan nilai CBR yang cukup signifikan. Untuk perbandingan nilai CBR dapat dilihat pada gambar 4.6 dan gambar 4.7.



Gambar 4. 8 Grafik Hasil CBR Tanpa Rendaman

Pada gambar 4.6 grafik batang, menunjukkan perbandingan rata-rata nilai CBR *Unsoaked* di setiap variasi substitusi *Slag* nikel, dengan kurva X menunjukkan besarnya variasi persentase substitusi limbah *slag* nikel, sedangkan pada kurva Y menunjukkan nilai CBR *Unsoaked* yang didapatkan dari pengujian pada masing-masing variasi persentase. Pada grafik tersebut, dapat dilihat nilai CBR dalam kondisi *Unsoaked* meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan variasi substitusi yaitu dari 54,44% pada variasi 0% hingga 89,67% pada variasi 100%.



Gambar 4. 9 Grafik Hasil CBR Rendaman

Dari grafik gambar 4.7, dapat dilihat bahwa nilai CBR dengan kondisi sampel direndam air terlihat cenderung lebih rendah dibanding dengan sampel

dalam kondisi tidak direndam, pada masing-masing variasi campuran, hal ini dikarenakan air mengurangi kekuatan geser dan kepadatan pada sampel *soaked*. Sama seperti kondisi tanpa rendaman, nilai CBR dalam kondisi *Soaked* meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan variasi substitusi yaitu dari 48,33% pada variasi 0% hingga 83,89% pada variasi 100%.

Dari seluruh sampel yang telah diuji, didapatkan bahwa nilai CBR yang tertinggi yaitu pada persentase substitusi variasi 100% *slag* nikel sebesar 89,67% dalam kondisi tanpa rendaman air (*Unsoaked*) dan sebesar 83,89% dalam kondisi dengan rendaman air (*Soaked*). Dengan bertambahnya persentase substitusi limbah *slag* nikel, maka nilai CBR di setiap variasi mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan kepadatan kering yang dihasilkan melalui pemadatan menggunakan metode *Modified Proctor*. Peningkatan nilai CBR pada variasi 100% limbah *slag* nikel merupakan hasil langsung dari kemampuannya untuk mencapai kepadatan kering yang tertinggi dengan kadar air yang paling rendah. Peningkatan nilai CBR ini disebabkan oleh berat jenis abu terbang *slag* nikel lebih besar dibandingkan dengan abu terbang agregat alam yang sebelumnya telah diuji pada pemeriksaan karakteristik agregat.

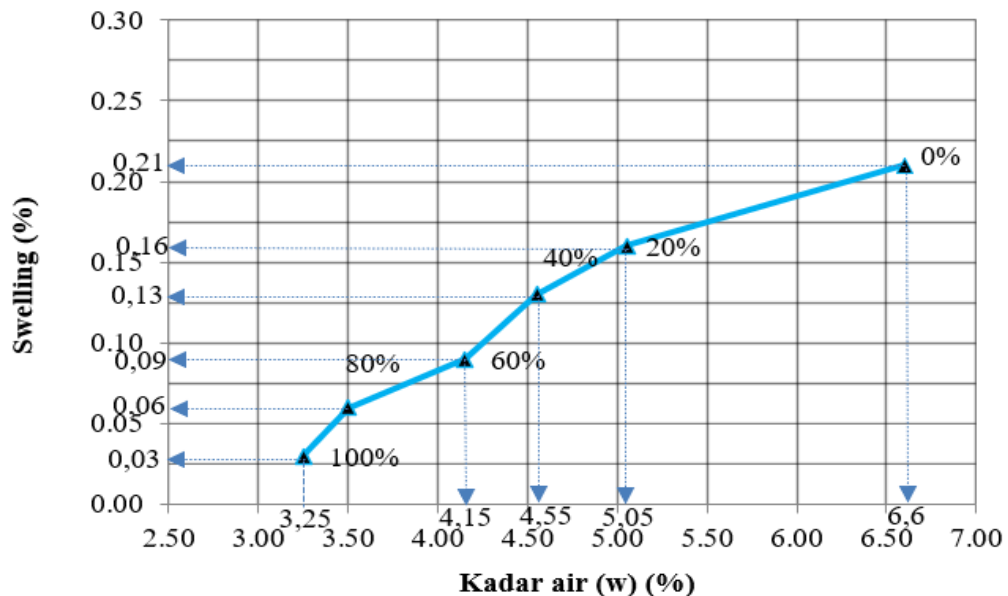
4.4 Potensi Pengembangan (*Swelling*)

Dalam uji CBR *Soaked* ini, potensi pengembangan diukur pada sampel CBR dalam kondisi dengan rendaman air selama 4 hari.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian *Swelling*

Komposisi Substitusi <i>Slag</i> Nikel Lolos Saringan No.200	Kadar Air Optimum (%)	<i>Swelling</i> (%)
0%	6,6	0.21
20%	5,05	0.16
40%	4,55	0.13
60%	4,15	0.09
80%	3,5	0.06
100%	3,25	0.03

Dari tabel 4.7 hasil pengujian *swelling*, nilai *swelling* yang terjadi berkisar antara 0,03% hingga 0,21% . Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa semakin bertambahnya komposisi limbah *slag* nikel pada campuran maka akan menurunkan nilai *swelling*.



Gambar 4. 10 Grafik Nilai Swelling

Diliat dari gambar 4.8, sumbu X mewakili kadar air dan sumbu Y mewakili persentase nilai pengembangan (*swelling*). Dari grafik tersebut dapat diliat makin naik kadar air di setiap variasi sampel, maka makin tinggi pula nilai dari pengembangan (*Swelling*) pada sampel. Dapat diamati bahwa kadar air tertinggi dan nilai *swelling* tertinggi dimiliki sampel variasi 0% *slag* nikel yaitu 0,21% dengan kadar air optimum 6,6%. Sedangkan pada variasi tertinggi 100% *slag* nikel, nilai *swelling* berada di posisi paling rendah yaitu 0,03 seiring dengan rendahnya kadar air optimum.

Berdasarkan ASTM D4792/D4792M-13:2013, yang menjelaskan tentang Standar *Test Method for Potential Expansion of Aggregates from Hydration Reactions*, nilai *swelling* yang diperoleh dari hasil pengujian menunjukkan bahwa material masih berada dalam batas yang diizinkan, yaitu maksimum 0,5%. Semakin kecil nilai *swelling*, maka kualitas material semakin baik karena tidak mudah mengembang saat terendam air. Hasil pengujian CBR *Soaked* ini menunjukkan bahwa penggunaan substitusi agregat alam dengan limbah *slag* nikel menghasilkan

nilai *swelling* yang lebih kecil dibandingkan campuran murni agregat alam. Hal ini mengindikasikan bahwa substitusi agregat alam lolos saringan no.200 dengan *slag* nikel dapat meningkatkan kestabilan material lapis pondasi bawah sehingga lebih aman dan tidak mengalami pengembangan berlebih saat lapis pondasi bawah terendam air. Jadi, makin kecil kadar air pada sampel di setiap variasi, maka nilai *swelling* atau pengembangan makin kecil, sehingga makin tinggi juga nilai CBR yang didapatkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisa menyeluruh terhadap data pengujian, didapatkan beberapa kesimpulan penting terkait pengaruh substitusi agregat alam lolos saringan no.200 dengan limbah *Slag* nikel sebagai material substitusi dalam campuran lapis pondasi bawah:

1. Substitusi agregat alam lolos saringan no.200 dengan limbah *Slag* nikel secara signifikan meningkatkan nilai CBR di setiap variasi komposisi *Slag* nikel dari variasi 0% hingga 100% *slag* nikel yaitu berkisar antara 48,33% sampai mencapai 89,67%, sehingga mengindikasikan bahwa makin banyak komposisi *slag* nikel dalam suatu campuran, maka makin tinggi CBR atau daya dukung dari campuran suatu lapis pondasi bawah. Dapat diamati juga bahwa nilai CBR rendaman lebih kecil dibanding dengan CBR tanpa rendaman di setiap variasi komposisi *slag* nikel.
2. Didapatkan bahwa nilai tertinggi CBR tercatat pada sampel variasi 100% substitusi limbah *Slag* nikel, dimana nilai CBR rendaman (*soaked*) tertinggi yaitu 83,89%, sementara pada nilai CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) mencapai 89,67%. Hal ini menunjukkan daya dukung yang sangat baik untuk diaplikasikan pada lapis pondasi bawah sesuai yang ditentukan oleh spesifikasi Bina Marga 2025 yaitu nilai minimum CBR rendaman untuk lapis pondasi bawah adalah > 60%.

5.2 Saran

Berikut adalah beberapa saran yang dapat diajukan dari penelitian ini:

1. Disarankan untuk melakukan penelitian berikutnya terhadap material *Slag* nikel pengganti agregat pada lapis pondasi atas (*base course*) guna menambah wawasan tentang daya dukung pada keseluruhan lapis pondasi agregat konstruksi jalan dan mengetahui potensi maksimal dari limbah nikel.
2. Dalam penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan prosedur pengujian dengan lebih teliti dan lebih berhati-hati untuk keselamatan dalam prosedur laboratorium sehingga mendapatkan hasil pengujian sesuai spesifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberth Telehala. (2023). Plastik Sebagai Bahan Campuran Aspal. *Jurnal Sosial Teknologi*, Vol(3): <https://doi.org/10.36418/jurnalsostech.v3i2.646>.
- Arifin, S. (2025). *Load-Bearing Capacity Performance Of Road Construction Using Nickel Slag Waste* (Nomor Icosiet 2024). Atlantis Press International BV.
- Arifin, S., Muh. Kasan., & Novita Pradani. (2007). Pengaruh Nilai Abrasi Agregat Terhadap Karakteristik Beton Aspal. *Jurnal SMARTek*, 5(1): 1–11, Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu
- Ali Abidin, Eko Budi Leksono. 2021. Pemanfaatan Limbah *Fly Ash* Batubara Sebagai Koagulan Dengan Konsep *Reverse Logistics*. Jurusan Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Gresik. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, Vol 7 : No 1; Juni 2021, 39-44 p-ISSN 2407-781X, e-ISSN 2655-2655.
- Ani Firda, Rosmalinda Permatasari, Indra Syahrul Fuad. 2021. Pemanfaatan Limbah Batubara *Fly Ash* Sebagai Material Pengganti Agregat Kasar Pada Pembuatan Beton Ringan. Jurusan Teknik Sipil Universitas Tridinanti Palembang. *Jurnal Deformasi*, Vol 6-1: Juni 2021, ISSN 2477- 4960, EISSN 2621-7929.
- Ariana Adhi Indira S., Iswan, Aminudin Syah. 2021. Hubungan Sifat-Sifat Fisik Tanah dan Aktivitas Tanah Terhadap Nilai Koefisien Permeabilitas yang Dipengaruhi Campuran Semen Berdasarkan Uji Laboratorium. Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, Edisi Juni 2021, Vol. 9: No. 2: Hal: 365 – 376. (p-ISSN:2303-0011) (e-ISSN:2715-0690).
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). SNI-03-1737: *Spesifikasi Agregat Untuk Beton Struktural*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Bangki, J. (2020). Perbandingan Gradasi Seragam Dan Gradasi Menerus Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, 9(1) : 62–71: <https://doi.org/10.55340/jmi.v9i1.654>.
- Barian Karopeboka, E. B. dan. (2018). Penelitian Kekuatan Tanah Metode CBR

- (California Bearing Ratio) di SPBG Bogor 1 Bubulak Jl. KH R Abdullah bin Nuh. *Jurnal KaLIBRASI : Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri*, 1(2): <https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v9i0.326>.
- Bethary, R. T., & Intari, D. E. (2022). Penggunaan Limbah Slag Nikel Untuk Material Jalan Ramah Lingkungan. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 11(1): 34: <https://doi.org/10.36055/fondasi.v0i0.14473>.
- Bina Marga. (2025). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2025 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan*. Jakarta.
- Bina Marga. (2004). Artikel *Penggunaan tailing untuk lapis pondasi dan lapis pondasi bawah*. Panitia Teknik Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil. Pd T-14-2004-B
- Bowles, Joseph .E., 1996. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Edisi kedua. Erlangga. Jakarta.
- C136:2012, S. N. I. A. (2012). SNI ASTM C136:2012. Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–24.
- Das, Braja.M. (1994). *Principles of geotechnical engineering* (3rd ed). PWS Publ.Co;WorldCat
- Das, Braja. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis* (1st ed.). Penerbit Erlangga.
- Hamzah, R. A., Kaseke, O. H., & Manopo, M. M. (2016). “Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Terhadap Kriteria Marshall Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lapis Tipis Aspal Beton – Lapis Aus Gradasi Senjang.” *Jurnal Sipil Statik*, 4(7) : 447–452.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik Fondasi 1*. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- Indira.,Marpaung, Alvin.,Setiadji.B.H., S. (2017). Evaluasi Gradasi Agregat Pada Campuran AC-WC. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(2): 1–11.
- 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 Politeknik Negeri Bengkalis (SNIT)*, 124–138).
- Nurmaidah & Suranto. *Pemadatan Standar Dan Uji Pemadatan Modified*

- Terhadap Tanah Yang Dicampur Kapur*, U. (2022). Standard Compaction Test And Modified Compaction Test Against Lime-Mixed Soil. *Jcebt*, 6(1): 2022. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>.
- Pareda, A. (2016). *Metode Pelaksanaan Dan Penentuan Kepadatan Lapangan Lapis Pondasi Bawah Pada Proyek Pelebaran Jalan Tumpaan-Lopana*.
- Prihatono, Y. (2011). *Pemadatan Tanah*. <https://yogoz.wordpress.com/2011/01/31/pemadatan-tanah-2>.
- Rifanni Wiziarti & Wiwik Rahayu. (2022). Potensi Penggunaan Campuran Slag Nikel dan Fly Ash Sebagai Material Perkerasan Jalan. *Jurnal Rab Contruction Research*, 7(1): Juni 2022. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. <http://jurnal.univrab.ac.id/index.php/racic>.
- Standar Nasional Indonesia. (2012). *Metode uji CBR laboratorium*. SNI 1744:2012. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. (2008). *Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*. SNI 2417:2008. Jakarta
- SNI-03-1737. (1989). *SNI-03-1737-1989-F Spesifikasi Agregat Untuk Beton Struktural*.
- Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. (n.d.).
- Sukirman, S. (1999). *TL I/1, Perkerasan Lentur Jalan Raya*, 1–129. Nova. Bandung
- Sukirman, S. (2010). *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. Nova. Bandung.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*. Institut Teknologi Nasional. Bandung
- Susanto, I., Ranastra Irawan, R., & Hamdani, D. (2020). *Nickel Slag waste utilization for road pavement material as strategy to reduce environmental pollution*. *E3S Web of Conferences*, 202: 1–10: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020205003>
- Syahrudin, Hafam, S. M., & Alifuddin, A. (2021). Pengaruh Variasi Slag Nikel Sebagai Bahan Tambah Agregat Halus pada Campuran Lapisan Aspal Beton. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 6(2): 101–107: <https://doi.org/10.33096/jtsm.v6i2.334>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Analisa Saringan

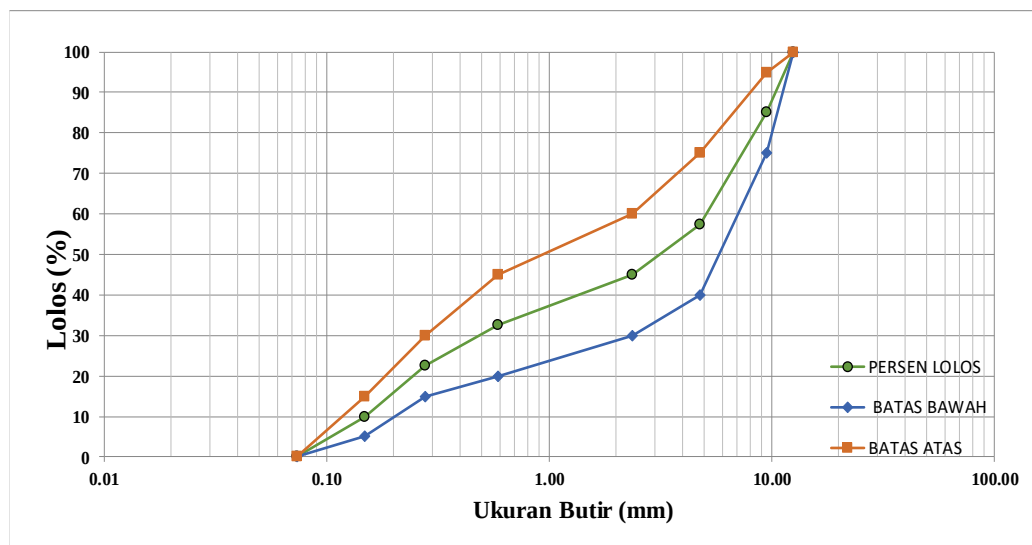


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 166

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Fiya Audrey Andalusia / F 111 21 006
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	DIHITUNG	: Fiya Audrey Andalusia / F 111 21 006
Pekerjaan	: Analisa Saringan	DIPERIKSA	: Ir. Imran, ST, MT
Contoh	:	TANGGAL	:

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 Tondolala - Telp. (0451) 422611 Fax. 179

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 (%)	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 \%$		0.60	0.834	
		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 : Firdiansyah 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		
	V		2.924	2.921	memenuhi
Berat jenis bulk SSD (BJ. SSD)	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	V - Bk		0.831	0.764	memenuhi
	Bk	Rata-rata (%)	0.797		≤ 3%

Volume Pycnometer = 500 ml

Mengetahui,
 PLP Laboratorium Struktur dan Bahan
 Bangunan

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

Lampiran 4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Abu Batu Agregat.



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	: Firdausyah S. S.T
CONTOH	:	TANGGAL	: 24 Juli 2025

BERAT JENIS ABU BATU ALAM

JENIS MATERIAL : ABU BATU ALAM

Pemeriksaan		I	II	Keterangan
Berat contoh sampel	B (gr)	64.000	64.000	
Tinggi air awal	Tak (cm)	0.500	0.500	
Tinggi air akhir	Taw (cm)	24.000	24.200	
Berat jenis	$\frac{B}{Taw - Tak}$ Rata-rata	2.723	2.700	
		2.712		

Mengetahui,
 PLP Laboratorium Struktur dan Bahan
 Bangunan


 Firdausyah S. S.T

NIP. 19700111 199603 1 001

Lampiran 5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Abu Batu *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	: Firhansyah S. S.T
CONTOH	:	TANGGAL	: 28 Juli 2025

BERAT JENIS ABU BATU SLAG NIKEL

JENIS MATERIAL : ABU BATU SLAG NIKEL

Pemeriksaan		I	II	Keterangan
Berat contoh sampel	B (gr)	64.000	64.000	
Tinggi air awal	Tak (cm)	0.500	0.500	
Tinggi air akhir	Taw (cm)	21.500	21.700	
Berat jenis	$\frac{B}{Taw - Tak}$ Rata-rata	3.048	3.019	
		3.033		

Mengetahui,
 PLP Laboratorium Struktur dan Bahan
 Bangunan

Firhansyah S. S.T

NIP. 19700111 199603 1 001

Lampiran 6 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	DIKERJAKAN : TIM SEMANGAT BARU
PEKERJAAN : Keausan Agregat (Abrasi)	DIHITUNG : TIM SEMANGAT BARU
LOKASI : Laboratorium Beton	DIPERIKSA :
CONTOH :	TANGGAL :

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

Ukuran Saringan		A/B/C/D/E/F/G	
		Berat Contoh (gram)	
Lolos	Tertahan	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

Pihansyah S. S.T
 NIP. 197001111996031001

Lampiran 7 Hasil Pengujian Pemadatan Variasi 0% (500 gr Fly Ash agregat alam)



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

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
 Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako
 No.Contoh : Uji Pemadatan
 Ked. Sampel : Variasi 0%

Dikerjakan : Fiya Audrey Andalusia
 Dihitung : Fiya Audrey Andalusia
 Diperiksa : Ir. Imran, ST.,MT
 Tanggal :

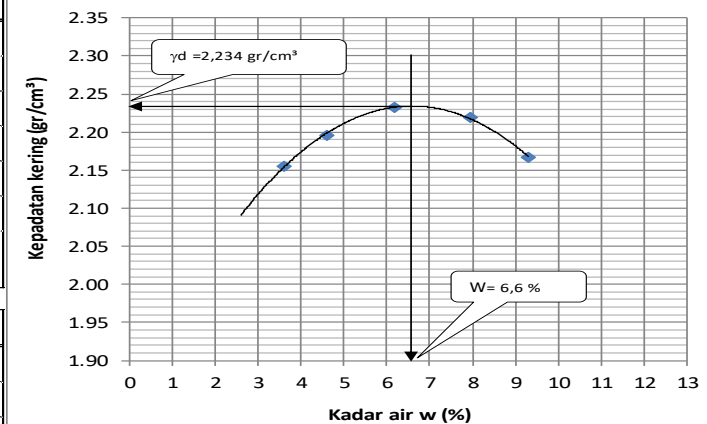
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : ~~Standard~~/Modified
 Cara : **D**

			I	II	III	IV	V
A	Berat mold + contoh basah	gram	8756.0	8891.0	9048.0	9101.0	9043.0
B	Berat mold	gram	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0
C	Berat contoh basah = A - B	gram	4739.0	4874.0	5031.0	5084.0	5026.0
D	Volume contoh	cm ³	2122.23	2122.231	2122.231	2122.231	2122.231
E	Kepadatan basah = C/D	gr/cm ³	2.233	2.297	2.371	2.396	2.368
F	Kadar air = N	%	3.60	4.59	6.17	7.93	9.31
G	Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$	gr/cm ³	2.155	2.196	2.233	2.219	2.167

H	Nomor cawan		A	B	C	D	E
I	Berat cawan + contoh basah	gram	45.47	44.88	42.62	53.67	79.53
J	Berat cawan + contoh kering	gram	44.35	43.37	40.75	50.45	73.55
K	Berat cawan	gram	13.26	10.49	10.44	9.87	9.30
L	Berat air = I - J	gram	1.12	1.51	1.87	3.22	5.98
M	Berat contoh kering = J - K	gram	31.09	32.88	30.31	40.58	64.25
N	Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$	%	3.60	4.59	6.17	7.93	9.31
Kadar air rata-rata		%	3.60	4.59	6.17	7.93	9.31



Berat isi kering maksimum = 2.234 gr/cm³
 Kadar air optimum = 6.60 %

Lampiran 8 Hasil Pengujian Pemadatan Variasi 20% (substitusi 100 gr *Fly Ash 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 Universitas Tadulako
 No.Contoh : Uji Pemadatan
 Ked. Sampel : Variasi 20%

Dikerjakan : Fiya Audrey Andalusia
 Dihitung : Fiya Audrey Andalusia
 Diperiksa : Ir. Imran, ST.,MT
 Tanggal :

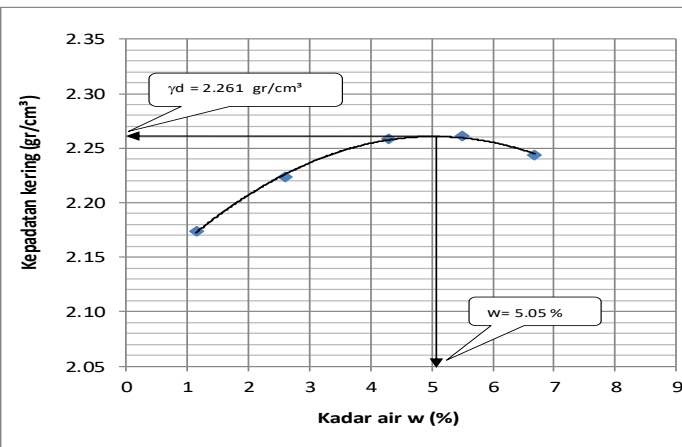
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : ~~Standar~~/Modified
 Cara : D

		I	II	III	IV	V
A	Berat mold + contoh basah	gram	8683.0	8858.0	9015.0	9079.0
B	Berat mold	gram	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0
C	Berat contoh basah = A - B	gram	4666.0	4841.0	4998.0	5062.0
D	Volume contoh	cm ³	2122.23	2122.231	2122.231	2122.231
E	Kepadatan basah = C/D	gr/cm ³	2.199	2.281	2.355	2.385
F	Kadar air = N	%	1.15	2.59	4.29	5.49
G	Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$	gr/cm ³	2.174	2.223	2.258	2.261

H	Nomor cawan	A	B	C	D	E
I	Berat cawan + contoh basah	gram	56.43	49.92	52.11	56.43
J	Berat cawan + contoh kering	gram	55.90	48.91	50.37	54.02
K	Berat cawan	gram	9.81	9.97	9.83	10.10
L	Berat air = I - J	gram	0.53	1.01	1.74	2.41
M	Berat contoh kering = J - K	gram	46.09	38.94	40.54	43.92
N	Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$	%	1.15	2.59	4.29	5.49
	Kadar air rata-rata	%	1.15	2.59	4.29	5.49



Berat isi kering maksimum 2.261 gr/cm³
 Kadar air optimum = 5.05 %

Lampiran 9 Hasil Pengujian Pemadatan Variasi 40% (substitusi 200 gr *Fly Ash 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 Universitas Tadulako
 No.Contoh : Uji Pemadatan
 Ked. Sampel : Variasi 40%

Dikerjakan : Fiya Audrey Andalusia
 Dihitung : Fiya Audrey Andalusia
 Diperiksa : Ir. Imran, ST.,MT
 Tanggal :

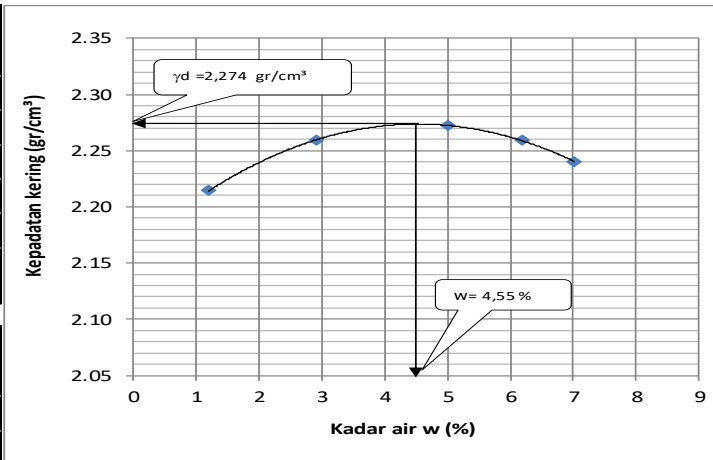
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : ~~Standar~~/ Modified
 Cara : D

		I	II	III	IV	V
A	Berat mold + contoh basah gram	8773.0	8952.0	9081.0	9109.0	9104.0
B	Berat mold gram	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0
C	Berat contoh basah = A - B gram	4756.0	4935.0	5064.0	5092.0	5087.0
D	Volume contoh cm ³	2122.23	2122.231	2122.231	2122.231	2122.231
E	Kepadatan basah = C/D gr/cm ³	2.241	2.325	2.386	2.399	2.397
F	Kadar air = N %	1.20	2.93	5.00	6.18	7.01
G	Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$ gr/cm ³	2.214	2.259	2.273	2.260	2.240

H	Nomor cawan	A	B	C	D	E
I	Berat cawan + contoh basah gram	65.39	47.81	56.47	48.12	54.25
J	Berat cawan + contoh kering gram	64.73	46.73	54.25	45.89	51.34
K	Berat cawan gram	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83
L	Berat air = I - J gram	0.66	1.08	2.22	2.23	2.91
M	Berat contoh kering = J - K gram	54.90	36.90	44.42	36.06	41.51
N	Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$ %	1.20	2.93	5.00	6.18	7.01
	Kadar air rata-rata %	1.20	2.93	5.00	6.18	7.01



Berat isi kering maksimum = 2.274 gr/cm³

Kadar air optimum = 4.55 %

Lampiran 10 Hasil Pengujian Pemadatan Variasi 60% (substitusi 300 gr Fly Ash 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 Universitas Tadulako
 No.Contoh : Uji Pemadatan
 Ked. Sampel : Variasi 60%

Dikerjakan : Fiya Audrey Andalusia
 Dihitung : Fiya Audrey Andalusia
 Diperiksa : Ir. Imran, ST.,MT
 Tanggal :

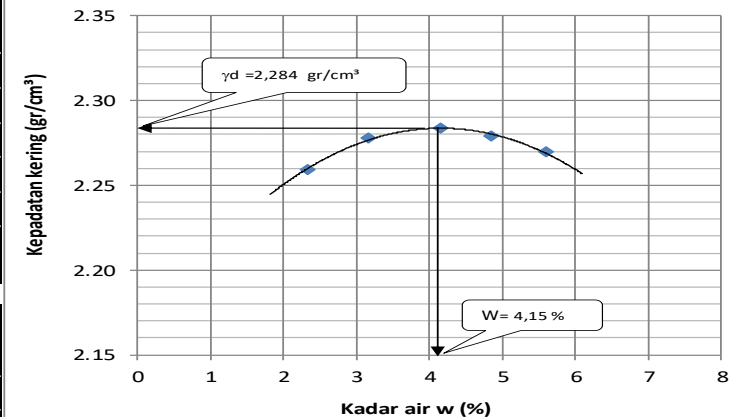
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : **Standar/Modified**
 Cara : **D**

	I	II	III	IV	V
A Berat mold + contoh basah gram	8923.0	9004.0	9065.0	9088.0	9103.0
B Berat mold gram	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0
C Berat contoh basah = A - B gram	4906.0	4987.0	5048.0	5071.0	5086.0
D Volume contoh cm ³	2122.23	2122.231	2122.231	2122.231	2122.231
E Kepadatan basah = C/D gr/cm ³	2.312	2.350	2.379	2.389	2.397
F Kadar air = N %	2.33	3.17	4.15	4.85	5.59
G Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$ gr/cm ³	2.259	2.278	2.284	2.279	2.270

H Nomor cawan	A	B	C	D	E
I Berat cawan + contoh basah gram	64.93	66.64	63.05	63.42	66.57
J Berat cawan + contoh kering gram	63.69	64.91	60.98	60.94	63.65
K Berat cawan gram	10.39	10.33	11.13	9.81	11.46
L Berat air = I - J gram	1.24	1.73	2.07	2.48	2.92
M Berat contoh kering = J - K gram	53.30	54.58	49.85	51.13	52.19
N Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$ %	2.33	3.17	4.15	4.85	5.59
Kadar air rata-rata %	2.33	3.17	4.15	4.85	5.59



Berat isi kering maksimum 2.284 gr/cm³
 Kadar air optimum = 4.15 %

Lampiran 11 Hasil Pengujian Pemadatan Variasi 80% (substitusi 400 gr *Fly Ash 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 Universitas Tadulako
 No.Contoh : Uji Pemadatan
 Ked. Sampel : Variasi 80%

Dikerjakan : Fiya Audrey Andalusia
 Dihitung : Fiya Audrey Andalusia
 Diperiksa : Ir. Imran, ST.,MT
 Tanggal :

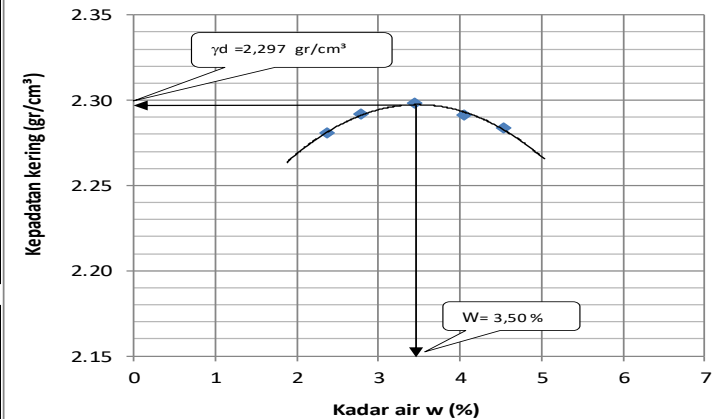
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : ~~Standar~~ / Modified
 Cara : D

		I	II	III	IV	V
A	Berat mold + contoh basah gram	8973.0	9016.0	9063.0	9077.0	9083.0
B	Berat mold gram	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0
C	Berat contoh basah = A - B gram	4956.0	4999.0	5046.0	5060.0	5066.0
D	Volume contoh cm ³	2122.23	2122.231	2122.231	2122.231	2122.231
E	Kepadatan basah = C/D gr/cm ³	2.335	2.356	2.378	2.384	2.387
F	Kadar air = N %	2.38	2.79	3.45	4.06	4.53
G	Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$ gr/cm ³	2.281	2.292	2.298	2.291	2.284

H	Nomor cawan	A	B	C	D	E
I	Berat cawan + contoh basah gram	68.21	68.17	63.75	68.98	63.52
J	Berat cawan + contoh kering gram	66.85	66.59	61.95	66.68	61.19
K	Berat cawan gram	9.68	9.94	9.81	10.00	9.79
L	Berat air = I - J gram	1.36	1.58	1.80	2.30	2.33
M	Berat contoh kering = J - K gram	57.17	56.65	52.14	56.68	51.40
N	Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$ %	2.38	2.79	3.45	4.06	4.53
	Kadar air rata-rata %	2.38	2.79	3.45	4.06	4.53



Berat isi kering maksimum 2.297 gr/cm³
 Kadar air optimum = 3.50 %

Lampiran 12 Hasil Pengujian Pemadatan Variasi 100% 500 gr Fly Ash 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 Universitas Tadulako
 No.Contoh : Uji Pemadatan
 Ked. Sampel : Variasi 100%

Dikerjakan : Fiya Audrey Andalusia
 Dihitung : Fiya Audrey Andalusia
 Diperiksa : Ir. Imran, ST.,MT
 Tanggal :

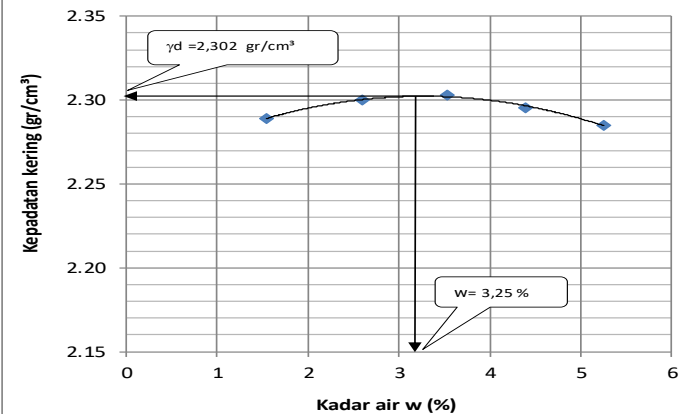
PERCOBAAN PEMADATAN

SNI - 03 - 1742 - 2008

Jenis pemadatan : ~~Standar~~/Modified
 Cara : D

			I	II	III	IV	V
A	Berat mold + contoh basah	gram	8950.0	9025.0	9077.0	9103.0	9121.0
B	Berat mold	gram	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0	4017.0
C	Berat contoh basah = A - B	gram	4933.0	5008.0	5060.0	5086.0	5104.0
D	Volume contoh	cm ³	2122.23	2122.231	2122.231	2122.231	2122.231
E	Kepadatan basah = C/D	gr/cm ³	2.324	2.360	2.384	2.397	2.405
F	Kadar air = N	%	1.54	2.60	3.53	4.40	5.25
G	Kepadatan kering = $\frac{E \cdot 100}{100 + N}$	gr/cm ³	2.289	2.300	2.303	2.296	2.285

H	Nomor cawan		A	B	C	D	E
I	Berat cawan + contoh basah	gram	63.25	47.85	56.12	53.80	50.76
J	Berat cawan + contoh kering	gram	62.46	46.89	54.67	51.96	48.73
K	Berat cawan	gram	11.29	9.97	13.59	10.10	10.10
L	Berat air = I - J	gram	0.79	0.96	1.45	1.84	2.03
M	Berat contoh kering = J - K	gram	51.17	36.92	41.08	41.86	38.63
N	Kadar air = $\frac{L \cdot 100}{M}$	%	1.54	2.60	3.53	4.40	5.25
	Kadar air rata-rata	%	1.54	2.60	3.53	4.40	5.25



Berat isi kering maksimum : 2.302 gr/cm³
 Kadar air optimum = 3.25 %

Lampiran 13 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 0% Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Fiya Audrey Andalusia / F 111 21 006
Lokasi	: Laboratorium Mekanika	DIHITUNG	: Fiya Audrey Andalusia / F 111 21 006
Pekerjaan	: CBR <i>Unsoaked</i>	DIPERIKSA	: Ir. Imran, ST, MT
Contoh	: Variasi 0% sampel 1	TANGGAL	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 6.60 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.234 gr/cm³

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9262.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5245.00	
Isi contoh	cm ³	2202.14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.382	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.234	

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

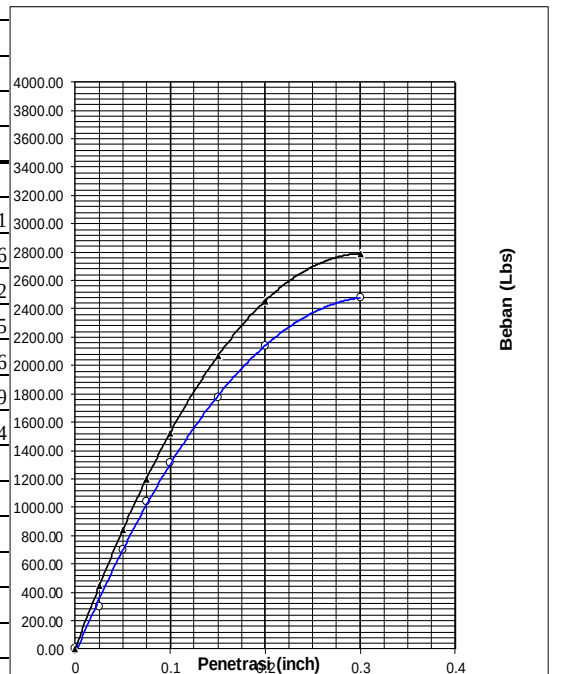
Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

Tinggi Sampel Awal : 12.19

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	35	53	296.05	448.31
1	0.05	83	100	702.06	845.86
1.5	0.075	123	142	1,040.41	1,201.12
2	0.1	155	180	1,311.08	1,522.55
3	0.15	210	245	1,776.31	2,072.36
4	0.2	253	290	2,140.03	2,452.99
5	0.3	293	330	2,478.37	2,791.34

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	43.69	
Cawan + Tanah kering	Gram	41.60	
Berat air	Gram	2.10	
Berat cawan	Gram	9.87	
Berat tanah kering	Gram	31.73	
Kadar air	%	6.60	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	43.33	47.78
CBR (%)	Bawah	50.00	54.44

Lampiran 14 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 0% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Fiya Audrey Andalusia / F 111 21 006
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah	DIHITUNG	: Fiya Audrey Andalusia / F 111 21 006
Pekerjaan	: CBR <i>Unsoaked</i>	DIPERIKSA	: Ir. Imran, ST, MT
Contoh	: Variasi 0% sampel 2	TANGGAL	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan	: Standard/Modified
Kadar air yang dikehendaki	: 6.60 %
Berat isi yang dikehendaki	: 2.234 gr/cm ³

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9262.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5245.00	
Isi contoh	cm ³	2202.14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.382	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.234	

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

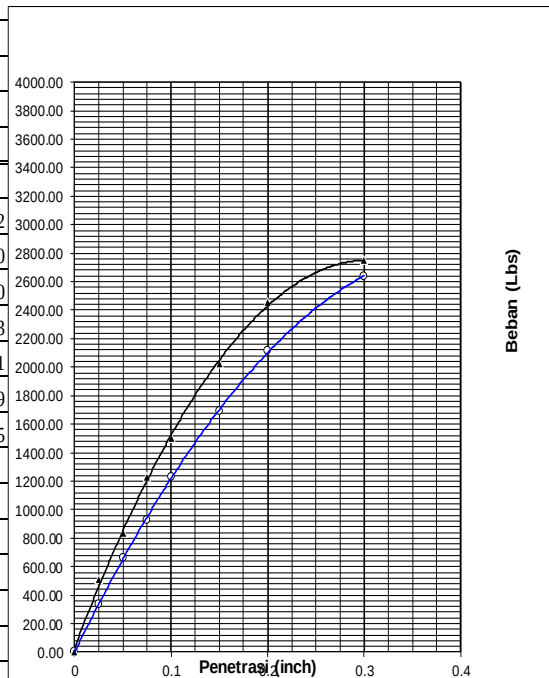
Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

Tinggi Sampel Awal : 12.19

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	40	60	338.34	507.52
1	0.05	78	99	659.77	837.40
1.5	0.075	110	145	930.45	1,226.50
2	0.1	145	178	1,226.50	1,505.63
3	0.15	200	239	1,691.72	2,021.61
4	0.2	250	290	2,114.65	2,452.99
5	0.3	312	325	2,639.08	2,749.05

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	43.61	
Cawan + Tanah kering	Gram	41.59	
Berat air	Gram	2.02	
Berat cawan	Gram	11.03	
Berat tanah kering	Gram	30.56	
Kadar air	%	6.61	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	40.00	46.67
CBR (%)	Bawah	50.00	54.44

Lampiran 15 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 20% Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako	Dihitung	: Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR <i>Unsoaked</i>	Diperiksa	: Ir. Imran, ST., MT
Ked. Sampel	: Variasi 20% sampel 1	Tanggal	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan	: Standard /Modified
Kadar air yang dikehendaki	: 5.05 %
Berat isi yang dikehendaki	: 2.261 gr/cm ³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

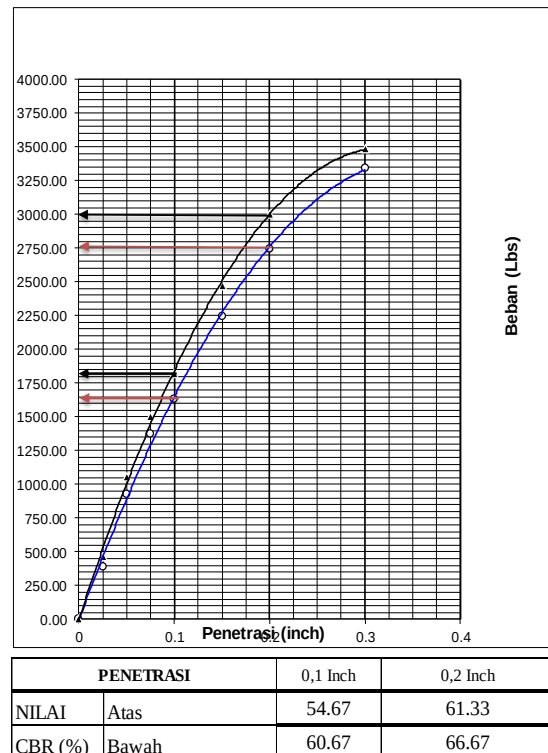
Tinggi Sampel Awal : 12.19

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	46	55	389.10	465.22
1	0.05	110	125	930.45	1,057.33
1.5	0.075	162	178	1,370.29	1,505.63
2	0.1	193	215	1,632.51	1,818.60
3	0.15	265	292	2,241.53	2,469.91
4	0.2	324	355	2,740.59	3,002.80
5	0.3	395	412	3,341.15	3,484.94

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	56.25	
Cawan + Tanah kering	Gram	54.03	
Berat air	Gram	2.22	
Berat cawan	Gram	10.10	
Berat tanah kering	Gram	43.93	
Kadar air	%	5.05	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9248.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5231.00	
Isi contoh	cm ³	2202.14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.375	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.261	



Lampiran 16 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 20% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako	Dihitung	: Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR <i>Unsoaked</i>	Diperiksa	: Ir. Imran, ST., MT
Ked. Sampel	: Variasi 20% sampel 2	Tanggal	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 5.05 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.261 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

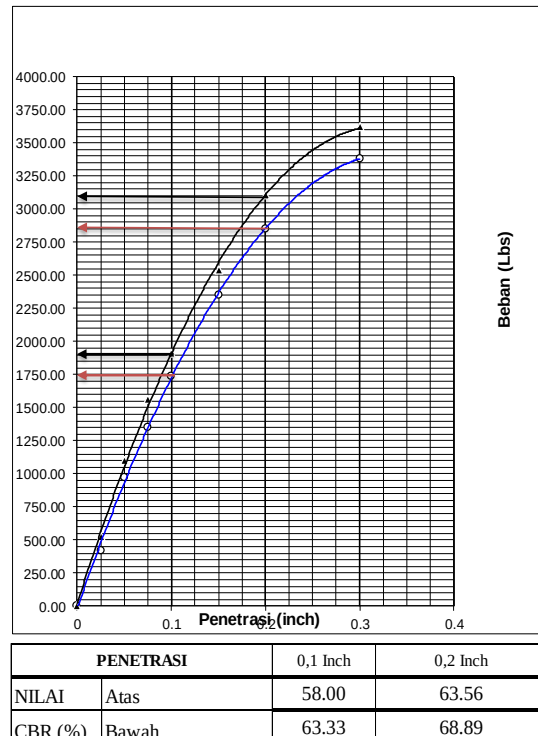
Tinggi Sampel Awal : 12.19

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	50	62	422.93	524.43
1	0.05	115	130	972.74	1,099.62
1.5	0.075	160	185	1,353.38	1,564.84
2	0.1	205	226	1,734.01	1,911.64
3	0.15	278	300	2,351.49	2,537.58
4	0.2	337	367	2,850.55	3,104.31
5	0.3	400	428	3,383.44	3,620.28

Pengujian Kadar Air		Sebelum		Sesudah	
		A	B	A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	56.04			
Cawan + Tanah kering	Gram	53.83			
Berat air	Gram	2.21			
Berat cawan	Gram	10.10			
Berat tanah kering	Gram	43.73			
Kadar air	%	5.05			

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9248.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5231.00	
Isi contoh	cm ³	2202.14	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.375	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.261	



Lampiran 17 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 40% Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako	Dihitung	: Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR <i>Unsoaked</i>	Diperiksa	: Ir. Imran, ST.,MT
Ked. Sampel	: Variasi 40% sampel 1	Tanggal	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 4.55 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.274 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

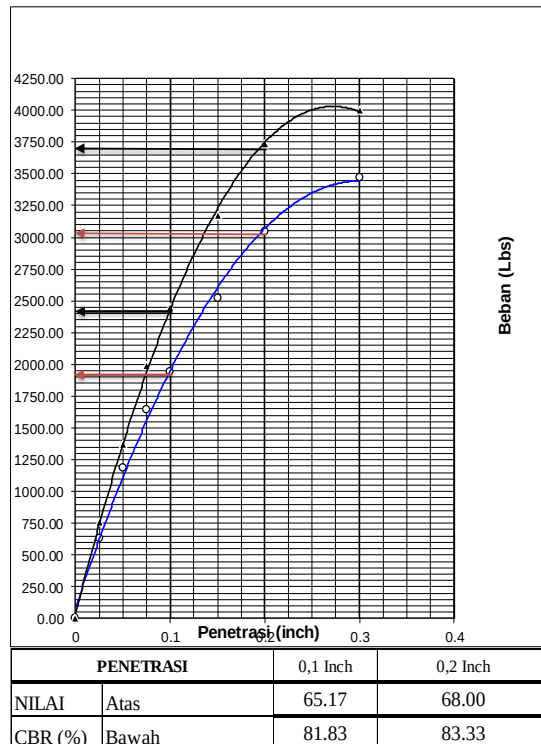
Tinggi Sampel Awal : 12.03

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	75	90	634.40	761.27
1	0.05	140	162	1,184.20	1,370.29
1.5	0.075	194	235	1,640.97	1,987.77
2	0.1	230	290	1,945.48	2,452.99
3	0.15	298	375	2,520.66	3,171.98
4	0.2	360	442	3,045.10	3,738.70
5	0.3	410	473	3,468.03	4,000.92

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	56.04	
Cawan + Tanah kering	Gram	54.03	
Berat air	Gram	2.01	
Berat cawan	Gram	9.83	
Berat tanah kering	Gram	44.20	
Kadar air	%	4.55	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9224.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5207.00	
Isi contoh	cm ³	2190.46	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.377	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.274	



Lampiran 18 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 40% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako	Dihitung	: Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR <i>Unsoaked</i>	Diperiksa	: Ir. Imran, ST.,MT
Ked. Sampel	: Variasi 40% sampel 2	Tanggal	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 4.55 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.274 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

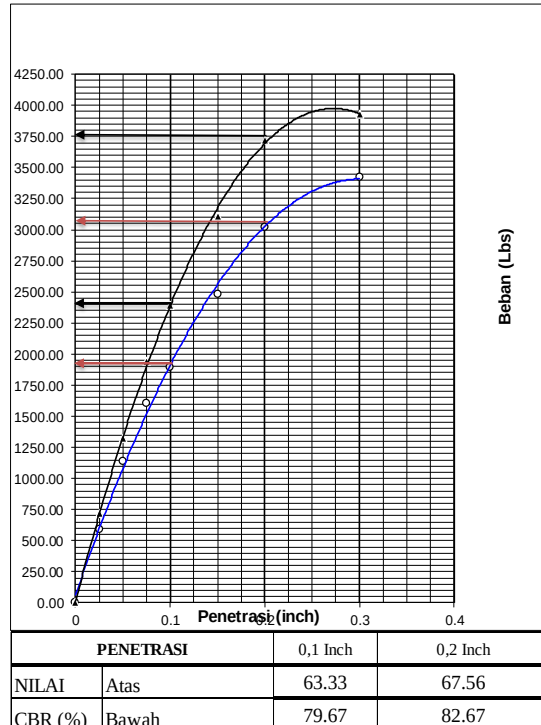
Tinggi Sampel Awal : 12.03

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	70	85	592.10	718.98
1	0.05	135	156	1,141.91	1,319.54
1.5	0.075	190	230	1,607.13	1,945.48
2	0.1	224	283	1,894.73	2,393.78
3	0.15	293	368	2,478.37	3,112.76
4	0.2	357	440	3,019.72	3,721.78
5	0.3	405	465	3,425.73	3,933.25

Pengujian Kadar Air		Sebelum Sesudah	
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	54.93	
Cawan + Tanah kering	Gram	53.01	
Berat air	Gram	1.92	
Berat cawan	Gram	10.83	
Berat tanah kering	Gram	42.18	
Kadar air	%	4.55	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9224.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5207.00	
Isi contoh	cm ³	2190.46	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.377	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.274	



Lampiran 19 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 60% Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako	Dihitung	: Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR <i>Unsoaked</i>	Diperiksa	: Ir. Imran, ST.,MT
Ked. Sampel	: Variasi 60% sampel 1	Tanggal	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 4.15 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.284 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

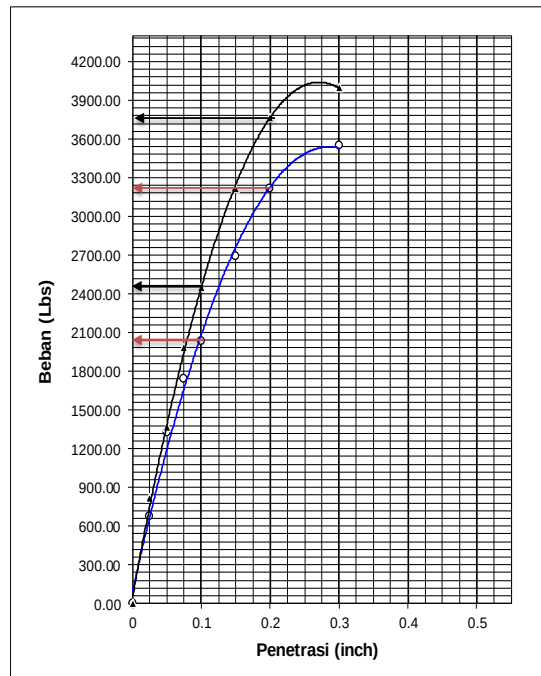
Tinggi Sampel Awal : 12.06

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	80	97	676.69	820.48
1	0.05	157	162	1,328.00	1,370.29
1.5	0.075	206	235	1,742.47	1,987.77
2	0.1	240	290	2,030.06	2,452.99
3	0.15	318	380	2,689.83	3,214.27
4	0.2	380	445	3,214.27	3,764.08
5	0.3	420	473	3,552.61	4,000.92

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	64.11	
Cawan + Tanah kering	Gram	61.96	
Berat air	Gram	2.15	
Berat cawan	Gram	10.12	
Berat tanah kering	Gram	51.84	
Kadar air	%	4.15	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9254.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5237.00	
Isi contoh	cm ³	2201.69	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.379	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.284	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	68.00	71.78
CBR (%)	Bawah	81.67	83.56

Lampiran 20 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 60% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako	Dihitung	: Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR <i>Unsoaked</i>	Diperiksa	: Ir. Imran, ST.,MT
Ked. Sampel	: Variasi 60% sampel 2	Tanggal	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan	: Standard /Modified
Kadar air yang dikehendaki	: 4.15 %
Berat isi yang dikehendaki	: 2.284 gr/cm ³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

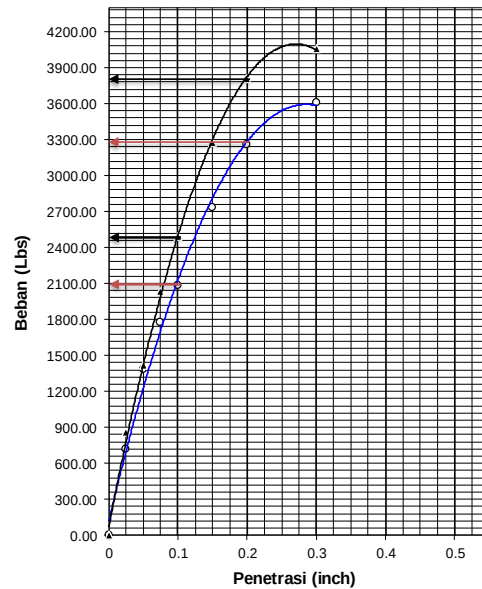
Tinggi Sampel Awal : 12.06

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	85	102	718.98	862.78
1	0.05	164	168	1,387.21	1,421.04
1.5	0.075	210	240	1,776.31	2,030.06
2	0.1	246	295	2,080.82	2,495.29
3	0.15	323	387	2,732.13	3,273.48
4	0.2	385	450	3,256.56	3,806.37
5	0.3	427	480	3,611.82	4,060.13

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	64.15	
Cawan + Tanah kering	Gram	61.96	
Berat air	Gram	2.19	
Berat cawan	Gram	9.20	
Berat tanah kering	Gram	52.76	
Kadar air	%	4.15	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9255.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5238.00	
Isi contoh	cm ³	2201.69	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.379	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.284	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	69.67	72.67
CBR (%)	Bawah	82.67	84.44

Lampiran 21 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 80% Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako	Dihitung	: Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR <i>Unsoaked</i>	Diperiksa	: Ir. Imran, ST.,MT
Ked. Sampel	: Variasi 80% sampel 1	Tanggal	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan	: Standard /Modified
Kadar air yang dikehendaki	: 3.50 %
Berat isi yang dikehendaki	: 2.297 gr/cm ³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

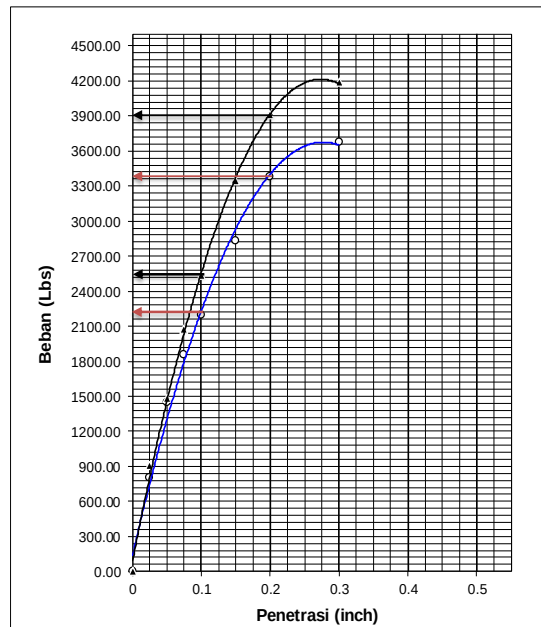
Tinggi Sampel Awal : 12.06

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	95	107	803.57	905.07
1	0.05	171	175	1,446.42	1,480.26
1.5	0.075	220	245	1,860.89	2,072.36
2	0.1	260	300	2,199.24	2,537.58
3	0.15	335	395	2,833.63	3,341.15
4	0.2	400	462	3,383.44	3,907.87
5	0.3	435	495	3,679.49	4,187.01

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	68.33	
Cawan + Tanah kering	Gram	66.36	
Berat air	Gram	1.97	
Berat cawan	Gram	10.00	
Berat tanah kering	Gram	56.36	
Kadar air	%	3.50	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9251.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5234.00	
Isi contoh	cm ³	2201.69	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.377	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.297	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	74.00	75.33
CBR (%)	Bawah	85.00	86.89

Lampiran 22 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 80% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako	Dihitung	: Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR <i>Unsoaked</i>	Diperiksa	: Ir. Imran, ST.,MT
Ked. Sampel	: Variasi 80% sampel 2	Tanggal	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 3.50 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.297 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

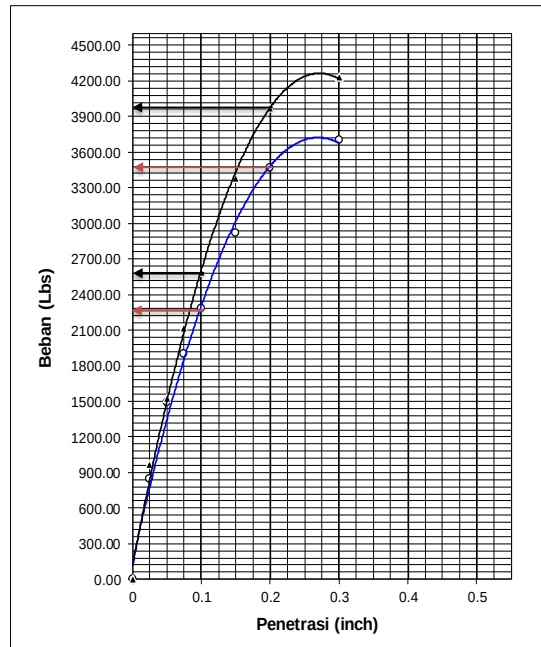
Tinggi Sampel Awal : 12.06

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	100	114	845.86	964.28
1	0.05	176	180	1,488.71	1,522.55
1.5	0.075	225	250	1,903.19	2,114.65
2	0.1	270	306	2,283.82	2,588.33
3	0.15	345	400	2,918.22	3,383.44
4	0.2	410	470	3,468.03	3,975.54
5	0.3	438	500	3,704.87	4,229.30

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	67.30	
Cawan + Tanah kering	Gram	65.35	
Berat air	Gram	1.95	
Berat cawan	Gram	9.76	
Berat tanah kering	Gram	55.59	
Kadar air	%	3.51	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9251.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5234.00	
Isi contoh	cm ³	2201.69	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.377	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.297	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	76.00	77.33
CBR (%)	Bawah	86.33	88.44

Lampiran 23 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 100% Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako	Dihitung	: Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR <i>Unsoaked</i>	Diperiksa	: Ir. Imran, ST.,MT
Ked. Sampel	: Variasi 100% sampel 1	Tanggal	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 3.25 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.302 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

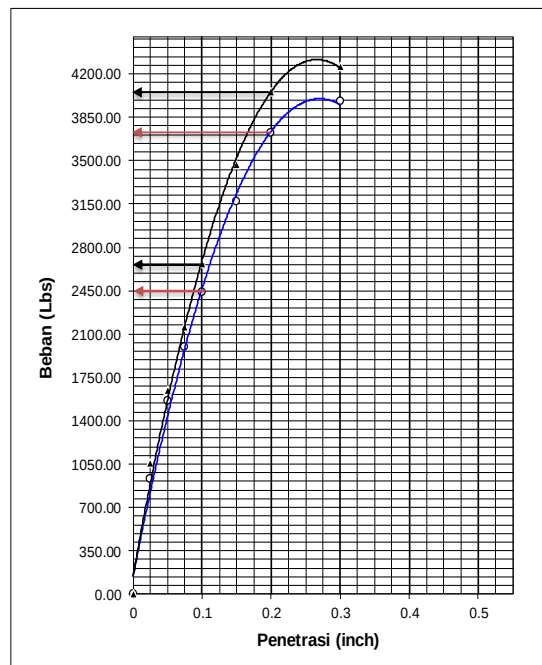
Tinggi Sampel Awal : 12.21

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	110	125	930.45	1,057.33
1	0.05	185	195	1,564.84	1,649.43
1.5	0.075	236	255	1,996.23	2,156.94
2	0.1	288	315	2,436.08	2,664.46
3	0.15	375	410	3,171.98	3,468.03
4	0.2	440	480	3,721.78	4,060.13
5	0.3	470	504	3,975.54	4,263.13

Pengujian Kadar Air		Sebelum		Sesudah	
		A	B		
Cawan + Tanah basah	Gram	48.11			
Cawan + Tanah kering	Gram	46.91			
Berat air	Gram	1.20			
Berat cawan	Gram	9.97			
Berat tanah kering	Gram	36.94			
Kadar air	%	3.25			

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9301.00	
Berat cetakan	Gr	4017.00	
Berat tanah basah	Gr	5284.00	
Isi contoh	cm ³	2223.23	
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.377	
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.302	



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	81.67	82.89
CBR (%)	Bawah	88.67	90.22

Lampiran 24 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* variasi 100% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	Dikerjakan	: Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako	Dihitung	: Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR <i>Unsoaked</i>	Diperiksa	: Ir. Imran, ST.,MT
Ked. Sampel	: Variasi 100% sampel 2	Tanggal	:

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 3.25 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.302 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	24-Jun-25	25-Jun-25	26-Jun-25	27-Jun-25	28-Jun-25
Jam					
Pemb. Dial					
Swell (%)					

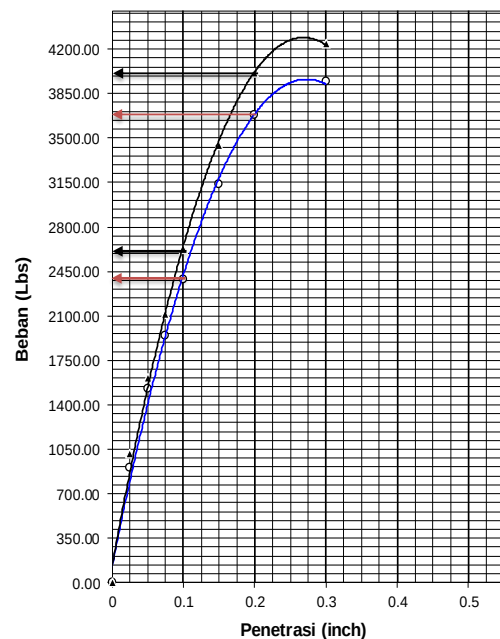
Tinggi Sampel Awal : 12.21

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	107	120	905.07	1,015.03
1	0.05	180	191	1,522.55	1,615.59
1.5	0.075	230	250	1,945.48	2,114.65
2	0.1	282	310	2,385.33	2,622.17
3	0.15	371	407	3,138.14	3,442.65
4	0.2	435	475	3,679.49	4,017.84
5	0.3	466	502	3,941.71	4,246.22

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	48.15	
Cawan + Tanah kering	Gram	46.95	
Berat air	Gram	1.20	
Berat cawan	Gram	10.03	
Berat tanah kering	Gram	36.92	
Kadar air	%	3.25	

KEPADATAN	Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9301.00
Berat cetakan	Gr	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5284.00
Isi contoh	cm ³	2223.23
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.377
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.302



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	80.00	81.78
CBR (%)	Bawah	87.00	89.11

Lampiran 25 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 0%
Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia/ F11121006
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 0% Sampel 1	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
Kadar air yang dikehendaki : 6.60 %
Berat isi yang dikehendaki : 2.234 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	30-Aug-25	31-Aug-25	1-Sep-25	2-Sep-25	3-Sep-25
Jam	11:35	11:35	11:35	11:35	11:35
Pemb. Dial	0	0.1	0.2	0.25	0.25
Swell (%)	0.00	0.08	0.17	0.21	0.21

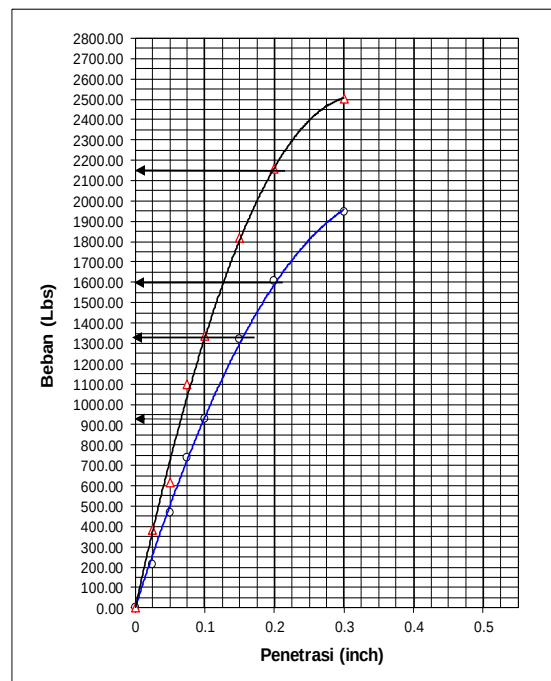
Tinggi Sampel Awal = 12.064

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	25	45	211.47	380.64
1	0.05	55	73	465.22	617.48
1.5	0.075	87	130	735.90	1,099.62
2	0.1	110	158	930.45	1,336.46
3	0.15	156	215	1,319.54	1,818.60
4	0.2	190	255	1,607.13	2,156.94
5	0.3	230	296	1,945.48	2,503.75

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	62.02	62.86
Cawan + Tanah kering	Gram	58.79	58.69
Berat air	Gram	3.23	4.17
Berat cawan	Gram	9.85	9.83
Berat tanah kering	Gram	48.94	48.86
Kadar air	%	6.60	8.53

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9242.00	9402.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5225.00	5385.00
Isi contoh	cm ³	2193.77	2193.77
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.382	2.455
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.234	2.262



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	31.00	35.56
CBR (%)	Bawah	44.33	47.78

Lampiran 26 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 0% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 0% sampel 2	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 6.60 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.234 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	30-Aug-25	31-Aug-25	1-Sep-25	2-Sep-25	3-Sep-25
Jam	15:35	15:35	15:35	15:35	15:35
Pemb. Dial	0	0.08	0.17	0.22	0.22
Swell (%)	0.00	0.07	0.15	0.19	0.19

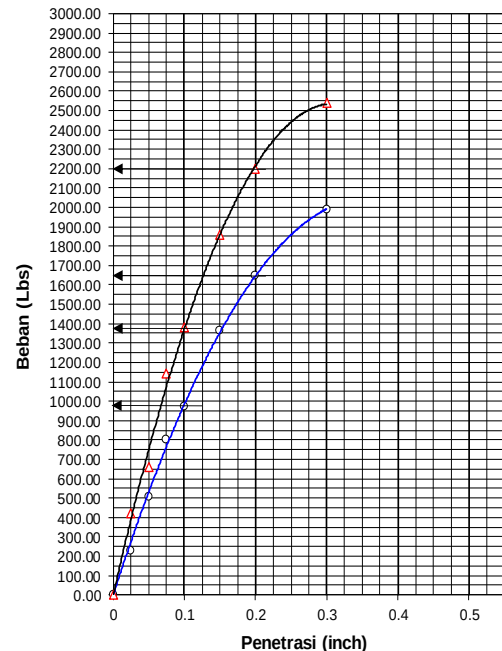
Tinggi Sampel Awal : 11.64

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	27	50	228.38	422.93
1	0.05	60	78	507.52	659.77
1.5	0.075	95	135	803.57	1,141.91
2	0.1	115	163	972.74	1,378.75
3	0.15	161	220	1,361.83	1,860.89
4	0.2	195	260	1,649.43	2,199.24
5	0.3	235	300	1,987.77	2,537.58

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	57.61	70.87
Cawan + Tanah kering	Gram	54.65	66.18
Berat air	Gram	2.96	4.69
Berat cawan	Gram	9.85	9.77
Berat tanah kering	Gram	44.80	56.41
Kadar air	%	6.61	8.31

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9072.00	8995.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5055.00	4978.00
Isi contoh	cm ³	2122.23	2122.23
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.382	2.346
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.234	2.166



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	32.67	36.67
CBR (%)	Bawah	46.00	48.89

Lampiran 27 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 20%
Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Lokasi	: Lab. Meknika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 20% sampel 1	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
Kadar air yang dikehendaki : 5.05 %
Berat isi yang dikehendaki : 2.261 gr/cm³

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9227.00	9176.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5210.00	5159.00
Isi contoh	cm ³	2193.77	2193.77
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.375	2.352
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.261	2.175

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

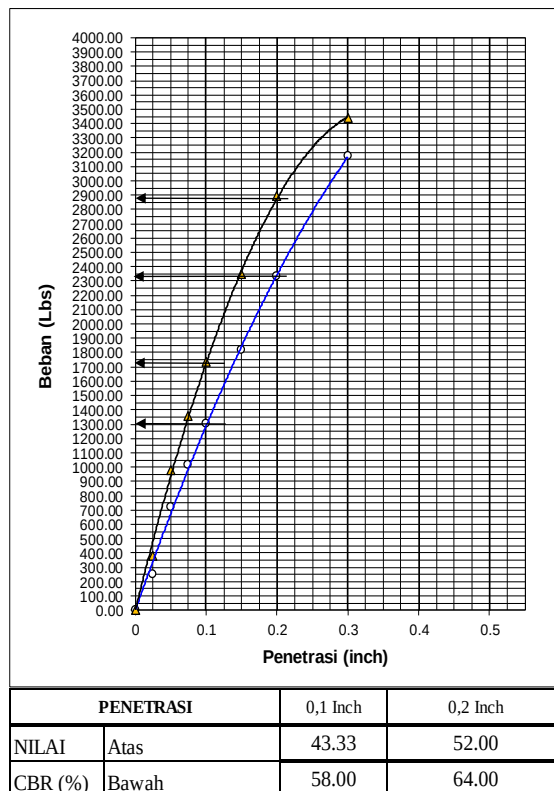
Tanggal	30-Aug-25	31-Aug-25	1-Sep-25	2-Sep-25	3-Sep-25
Jam	16:10	16:10	16:10	16:10	16:10
Pemb. Dial	0	0.1	0.18	0.18	0.18
Swell (%)	0.00	0.08	0.15	0.15	0.15

Tinggi Sampel Awal : 12.064

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	30	45	253.76	380.64
1	0.05	85	116	718.98	981.20
1.5	0.075	120	160	1,015.03	1,353.38
2	0.1	154	205	1,302.62	1,734.01
3	0.15	215	278	1,818.60	2,351.49
4	0.2	276	342	2,334.57	2,892.84
5	0.3	375	407	3,171.98	3,442.65

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	58.70	67.81
Cawan + Tanah kering	Gram	56.42	63.46
Berat air	Gram	2.28	4.35
Berat cawan	Gram	11.23	9.83
Berat tanah kering	Gram	45.19	53.63
Kadar air	%	5.05	8.11



Lampiran 28 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 20% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 20% sampel 2	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 5.05 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.261 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	30-Aug-25	31-Aug-25	1-Sep-25	2-Sep-25	3-Sep-25
Jam	16:10	16:10	16:10	16:10	16:10
Pemb. Dial	0	0.16	0.19	0.19	0.19
Swell (%)	0.00	0.14	0.16	0.16	0.16

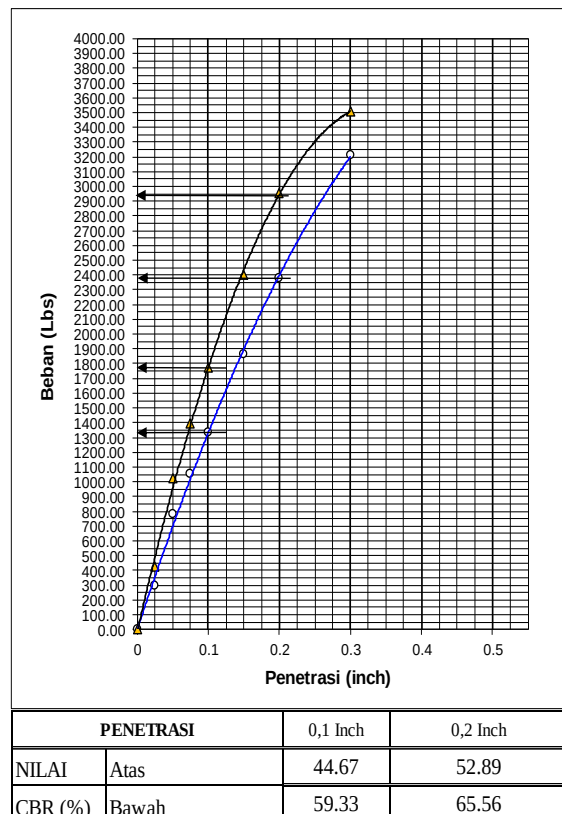
Tinggi Sampel Awal : 11.64

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	35	50	296.05	422.93
1	0.05	92	121	778.19	1,023.49
1.5	0.075	125	165	1,057.33	1,395.67
2	0.1	158	210	1,336.46	1,776.31
3	0.15	220	284	1,860.89	2,402.24
4	0.2	281	349	2,376.87	2,952.05
5	0.3	380	415	3,214.27	3,510.32

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	57.28	70.76
Cawan + Tanah kering	Gram	54.94	66.18
Berat air	Gram	2.34	4.58
Berat cawan	Gram	8.56	9.77
Berat tanah kering	Gram	46.38	56.41
Kadar air	%	5.05	8.12

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9057.00	9006.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5040.00	4989.00
Isi contoh	cm ³	2122.23	2122.23
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.375	2.351
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.261	2.174



Lampiran 29 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 40% Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 40% sampel 1	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 4.55 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.274 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	30-Aug-25	31-Aug-25	1-Sep-25	2-Sep-25	3-Sep-25
Jam	16:10	16:10	16:10	16:10	16:10
Pemb. Dial	0	0.09	0.15	0.15	0.15
Swell (%)	0.00	0.07	0.12	0.12	0.12

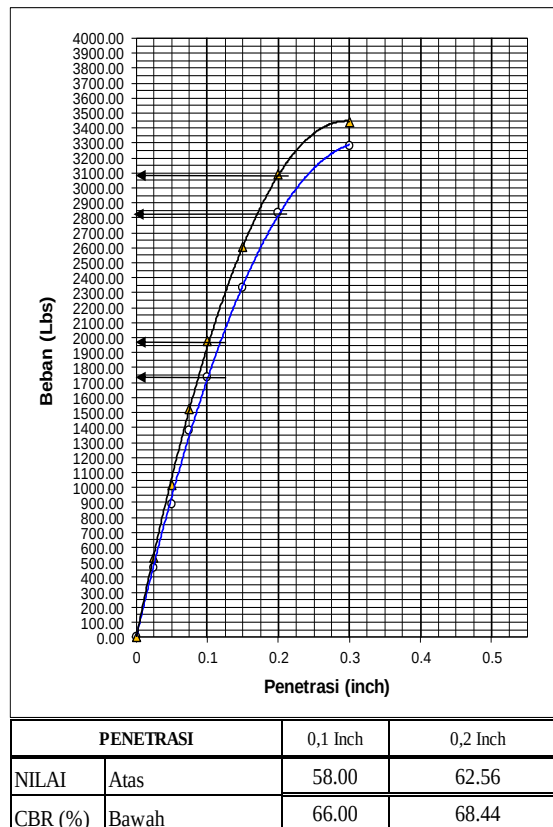
Tinggi Sampel Awal : 12.064

KALIBRASI PROVING RING : 8.4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.025	55.00	63.00	465.22	532.89
1	0.05	105.00	120.00	888.15	1,015.03
1.5	0.075	163.00	180.00	1,378.75	1,522.55
2	0.1	205.00	234.00	1,734.01	1,979.31
3	0.15	276.00	308.00	2,334.57	2,605.25
4	0.2	335.00	365.00	2,833.63	3,087.39
5	0.3	388.00	407.00	3,281.94	3,442.65

Pengujian Kadar Air		Sebelum		Sesudah	
		A		B	
Cawan + Tanah basah	Gram	60.07	67.75		
Cawan + Tanah kering	Gram	57.89	63.53		
Berat air	Gram	2.18	4.22		
Berat cawan	Gram	10.03	8.32		
Berat tanah kering	Gram	47.86	55.21		
Kadar air	%	4.55	7.64		

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9232.00	9176.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5215.00	5159.00
Isi contoh	cm ³	2193.77	2193.77
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.377	2.352
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.274	2.185



Lampiran 30 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 40% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 40% sampel 2	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 4.55 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.274 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	30-Aug-25	31-Aug-25	1-Sep-25	2-Sep-25	3-Sep-25
Jam	16:10	16:10	16:10	16:10	16:10
Pemb. Dial	0	0.13	0.15	0.15	0.15
Swell (%)	0.00	0.11	0.13	0.13	0.13

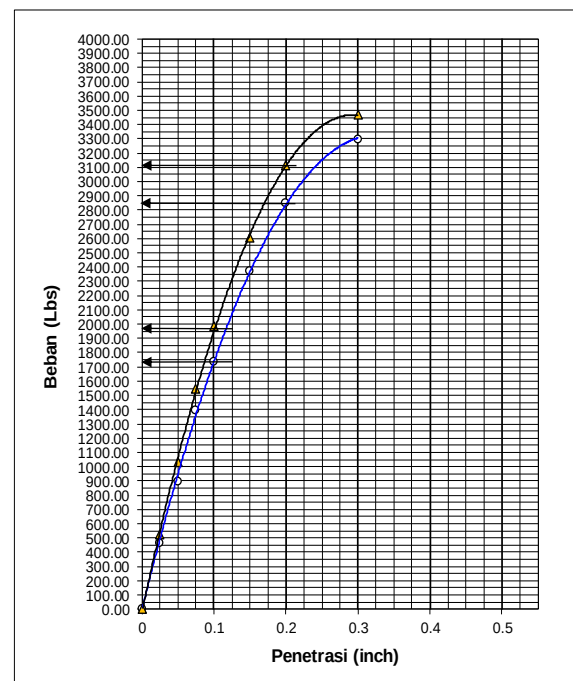
Tinggi Sampel Awal : 11.64

KALIBRASI PROVING RING : 8.4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.025	55.00	62.00	465.22	524.43
1	0.05	106.00	122.00	896.61	1,031.95
1.5	0.075	165.00	183.00	1,395.67	1,547.92
2	0.1	205.00	235.00	1,734.01	1,987.77
3	0.15	280.00	308.00	2,368.41	2,605.25
4	0.2	337.00	368.00	2,850.55	3,112.76
5	0.3	390.00	410.00	3,298.85	3,468.03

Pengujian Kadar Air		Sebelum		Sesudah	
		A		B	
Cawan + Tanah basah	Gram	56.86		69.75	
Cawan + Tanah kering	Gram	54.88		66.32	
Berat air	Gram	1.98		3.43	
Berat cawan	Gram	11.24		9.51	
Berat tanah kering	Gram	43.64		56.81	
Kadar air	%	4.54		6.04	

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9061.00	8799.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5044.00	4782.00
Isi contoh	cm ³	2122.23	2122.23
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.377	2.253
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.274	2.125



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	57.67	63.33
CBR (%)	Bawah	65.83	69.11

Lampiran 31 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 60% Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 60% sampel 1	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 4.15 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.284 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	4-Sep-25	5-Sep-25	6-Sep-25	7-Sep-25	8-Sep-25
Jam	16:30	16:30	16:30	16:30	16:30
Pemb. Dial	0	0.06	0.1	0.1	0.1
Swell (%)	0.00	0.05	0.09	0.09	0.09

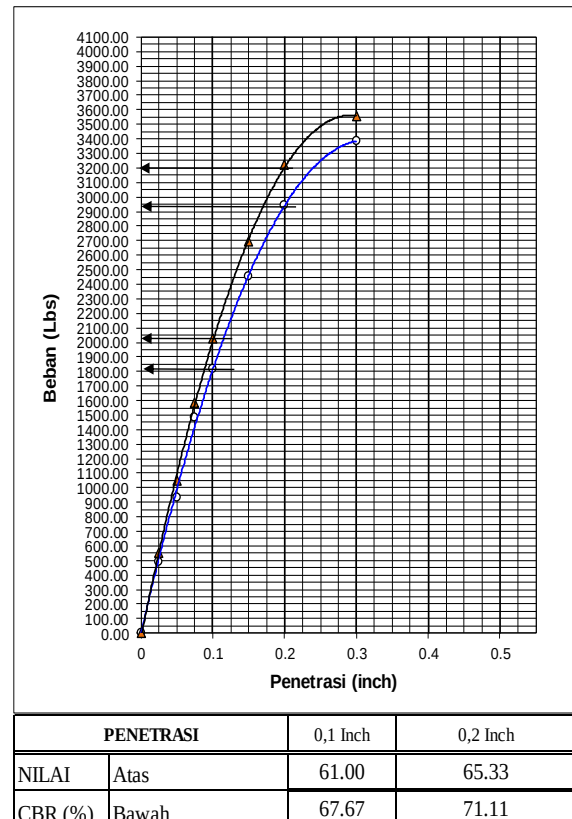
Tinggi Sampel Awal : 11.61

KALIBRASI PROVING RING : 8.4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.025	58.00	65.00	490.60	549.81
1	0.05	110.00	124.00	930.45	1,048.87
1.5	0.075	175.00	187.00	1,480.26	1,581.76
2	0.1	215.00	240.00	1,818.60	2,030.06
3	0.15	290.00	319.00	2,452.99	2,698.29
4	0.2	348.00	381.00	2,943.59	3,222.73
5	0.3	400.00	420.00	3,383.44	3,552.61

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	60.07	61.56
Cawan + Tanah kering	Gram	58.09	58.12
Berat air	Gram	1.98	3.44
Berat cawan	Gram	10.23	9.83
Berat tanah kering	Gram	47.86	48.29
Kadar air	%	4.14	7.12

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9032.00	8970.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5015.00	4953.00
Isi contoh	cm ³	2108.44	2108.44
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.379	2.349
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.284	2.193



Lampiran 32 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 60% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 60% sampel 2	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 4.15 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.284 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	4-Sep-25	5-Sep-25	6-Sep-25	7-Sep-25	8-Sep-25
Jam	16:30	16:30	16:30	16:30	16:30
Pemb. Dial	0	0.07	0.09	0.09	0.09
Swell (%)	0.00	0.06	0.07	0.07	0.07

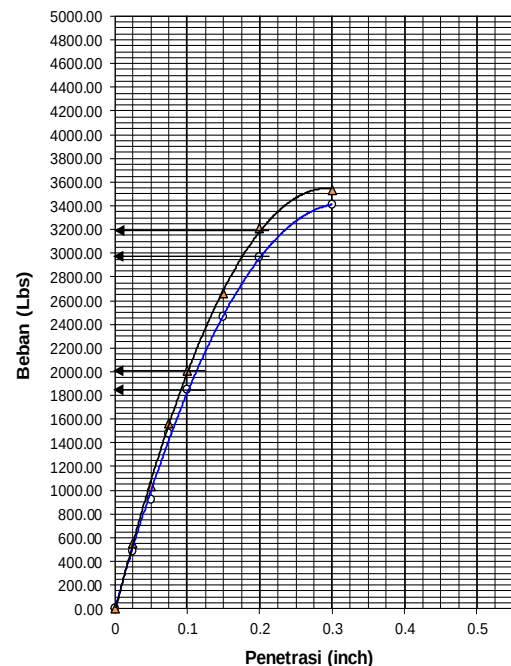
Tinggi Sampel Awal : 12.064

KALIBRASI PROVING RING : 8.4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.025	57.00	65.00	482.14	549.81
1	0.05	109.00	122.00	921.99	1,031.95
1.5	0.075	175.00	185.00	1,480.26	1,564.84
2	0.1	219.00	238.00	1,852.43	2,013.15
3	0.15	291.00	315.00	2,461.45	2,664.46
4	0.2	350.00	380.00	2,960.51	3,214.27
5	0.3	403.00	418.00	3,408.82	3,535.69

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	72.45	59.68
Cawan + Tanah kering	Gram	69.95	56.04
Berat air	Gram	2.50	3.64
Berat cawan	Gram	9.77	9.85
Berat tanah kering	Gram	60.18	46.19
Kadar air	%	4.15	7.88

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9236.00	9197.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5219.00	5180.00
Isi contoh	cm ³	2193.77	2193.77
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.379	2.361
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.284	2.189



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	60.83	65.67
CBR (%)	Bawah	66.33	70.78

Lampiran 33 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 80% Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	FiyaAudrey Andalusia
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	FiyaAudrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 80% sampel 1	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 3.50 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.297 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	4-Sep-25	5-Sep-25	6-Sep-25	7-Sep-25	8-Sep-25
Jam	16:10	16:10	16:10	16:10	16:10
Pemb. Dial	0	0.06	0.07	0.07	0.07
Swell (%)	0.00	0.05	0.06	0.06	0.06

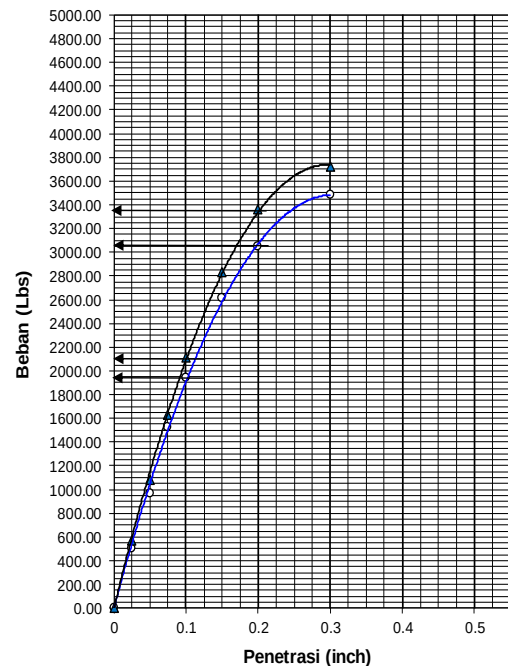
Tinggi Sampel Awal : 11.61

KALIBRASI PROVING RING : 8.4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.025	60.00	67.00	507.52	566.73
1	0.05	114.00	128.00	964.28	1,082.70
1.5	0.075	180.00	193.00	1,522.55	1,632.51
2	0.1	230.00	250.00	1,945.48	2,114.65
3	0.15	309.00	335.00	2,613.71	2,833.63
4	0.2	360.00	398.00	3,045.10	3,366.52
5	0.3	412.00	440.00	3,484.94	3,721.78

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	63.47	76.23
Cawan + Tanah kering	Gram	61.72	70.98
Berat air	Gram	1.75	5.25
Berat cawan	Gram	11.73	9.83
Berat tanah kering	Gram	49.99	61.15
Kadar air	%	3.50	8.59

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9030.00	9019.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5013.00	5002.00
Isi contoh	cm ³	2108.44	2108.44
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.378	2.372
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.297	2.185



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	63.67	68.22
CBR (%)	Bawah	70.00	74.44

Lampiran 34 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 80% Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 80% sampel 2	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 3.50 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.297 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	4-Sep-25	5-Sep-25	6-Sep-25	7-Sep-25	8-Sep-25
Jam	16:10	16:10	16:10	16:10	16:10
Pemb. Dial	0	0.04	0.06	0.06	0.06
Swell (%)	0.00	0.03	0.05	0.05	0.05

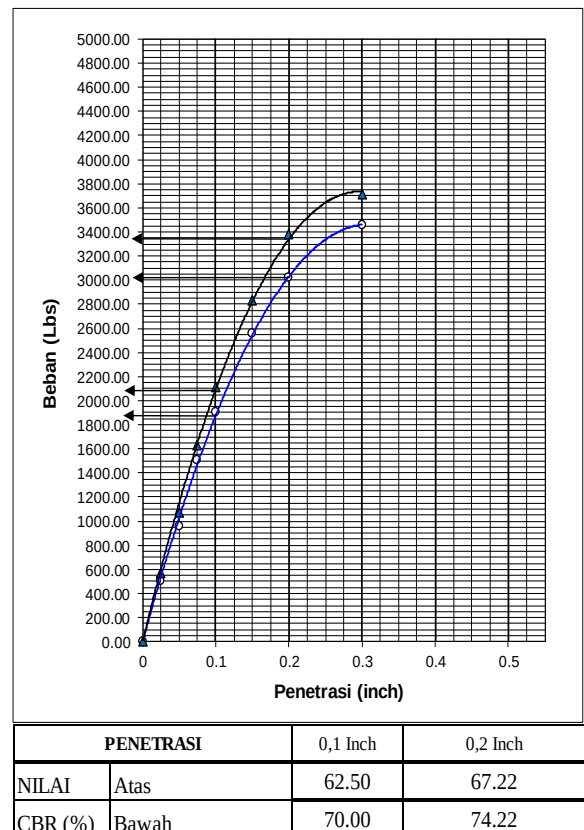
Tinggi Sampel Awal : 11.61

KALIBRASI PROVING RING : 8.4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.025	60.00	67.00	507.52	566.73
1	0.05	113.00	127.00	955.82	1,074.24
1.5	0.075	178.00	193.00	1,505.63	1,632.51
2	0.1	225.00	250.00	1,903.19	2,114.65
3	0.15	302.00	335.00	2,554.50	2,833.63
4	0.2	357.00	400.00	3,019.72	3,383.44
5	0.3	409.00	439.00	3,459.57	3,713.33

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	66.00	71.84
Cawan + Tanah kering	Gram	64.10	67.02
Berat air	Gram	1.90	4.82
Berat cawan	Gram	9.85	9.77
Berat tanah kering	Gram	54.25	57.25
Kadar air	%	3.50	8.42

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9030.00	9010.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5013.00	4993.00
Isi contoh	cm ³	2108.44	2108.44
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.378	2.368
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.297	2.184



Lampiran 35 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 100% Sampel 1.1



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	Fiya Audrey Andalusia
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 100% sampel 1	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
 Kadar air yang dikehendaki : 3.25 %
 Berat isi yang dikehendaki : 2.302 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	4-Sep-25	5-Sep-25	6-Sep-25	7-Sep-25	8-Sep-25
Jam	15:35	15:35	15:35	15:35	15:35
Pemb. Dial	0	0.04	0.04	0.04	0.04
Swell (%)	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03

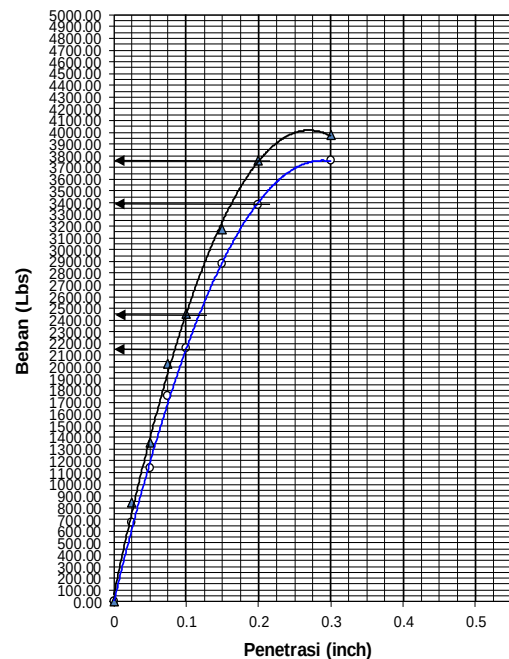
Tinggi Sampel Awal : 11.61

KALIBRASI PROVING RING : 8.4586 Lbs/Div

Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.025	80.00	100.00	676.69	845.86
1	0.05	135.00	160.00	1,141.91	1,353.38
1.5	0.075	207.00	240.00	1,750.93	2,030.06
2	0.1	255.00	290.00	2,156.94	2,452.99
3	0.15	340.00	375.00	2,875.92	3,171.98
4	0.2	400.00	445.00	3,383.44	3,764.08
5	0.3	445.00	470.00	3,764.08	3,975.54

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	60.70	78.77
Cawan + Tanah kering	Gram	59.12	73.91
Berat air	Gram	1.58	4.86
Berat cawan	Gram	10.33	9.83
Berat tanah kering	Gram	48.79	64.08
Kadar air	%	3.24	7.58

KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9027.00	8982.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5010.00	4965.00
Isi contoh	cm ³	2108.44	2108.44
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.376	2.355
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.302	2.189



PENETRASI		0,1 Inch	0,2 Inch
NILAI	Atas	71.67	75.56
CBR (%)	Bawah	81.67	83.33

Lampiran 36 Hasil Uji *California Bearing Ratio (CBR) Soaked* variasi 100%
Sampel 1.2



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

Pekerjaan	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Universitas Tadulako	DIHITUNG	Fiya Audrey Andalusia/F11121006
Jenis Pengujian	: CBR	DIPERIKSA	: Ir. Imran S.T., M.T.
Ked. Sampel	: Rend 100% sampel 2	TANGGAL	

PERCOBAAN CBR LABORATORIUM

SNI - 03 - 1744 - 2012

Pengujian Kepadatan : ~~Standard~~/Modified
Kadar air yang dikehendaki : 3.25 %
Berat isi yang dikehendaki : 2.302 gr/cm³

PENGEMBANGAN UNTUK SAMPEL YANG DIRENDAM

Tanggal	4-Sep-25	5-Sep-25	6-Sep-25	7-Sep-25	8-Sep-25
Jam	15:35	15:35	15:35	15:35	15:35
Pemb. Dial	0	0.02	0.02	0.02	0.02
Swell (%)	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02

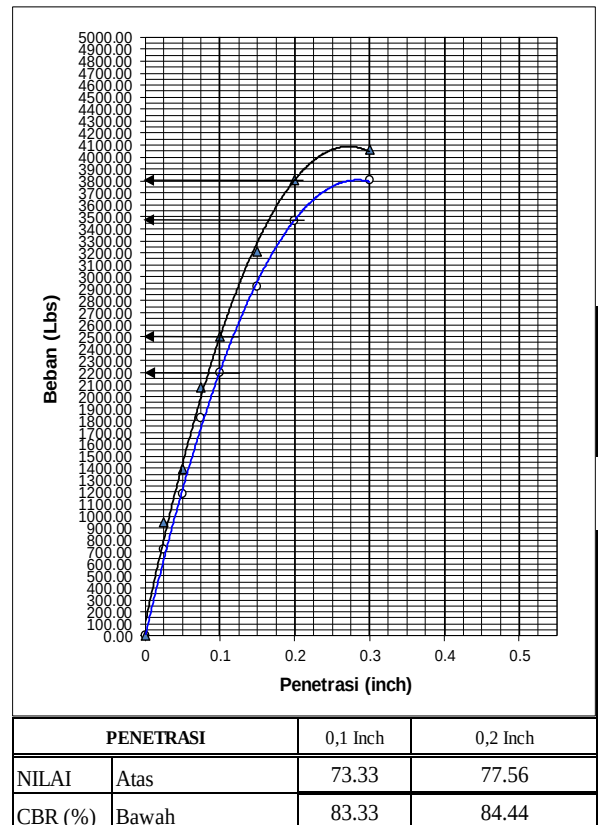
Tinggi Sampel Awal : 11.61

KALIBRASI PROVING RING : 8.4586 Lbs/Div

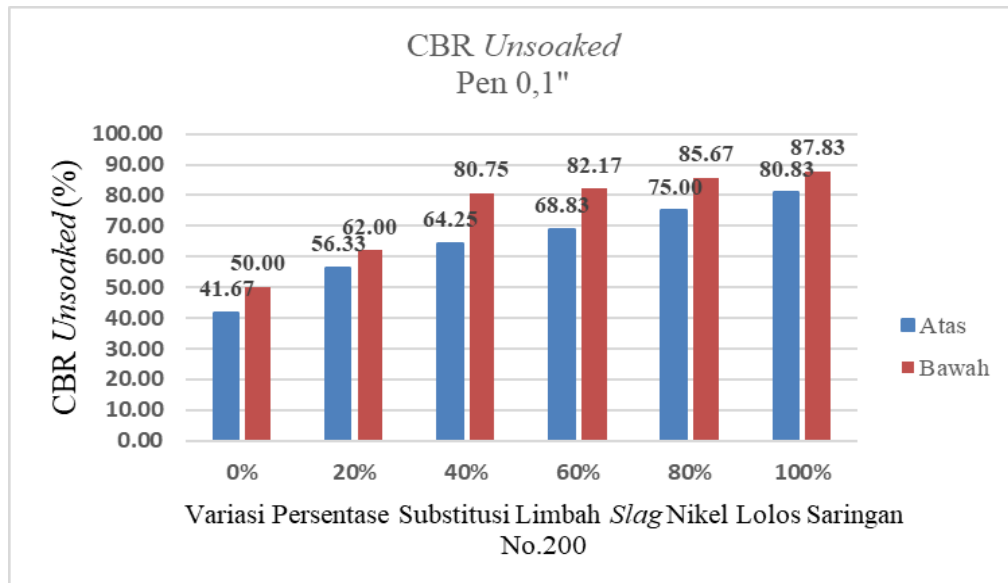
Time (min)	Pen (inch)	Dial beban		Beban (Lbs)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.025	85.00	112.00	718.98	947.36
1	0.05	140.00	165.00	1,184.20	1,395.67
1.5	0.075	215.00	245.00	1,818.60	2,072.36
2	0.1	260.00	296.00	2,199.24	2,503.75
3	0.15	345.00	380.00	2,918.22	3,214.27
4	0.2	410.00	450.00	3,468.03	3,806.37
5	0.3	450.00	480.00	3,806.37	4,060.13

Pengujian Kadar Air		Sebelum	Sesudah
		A	B
Cawan + Tanah basah	Gram	49.51	72.23
Cawan + Tanah kering	Gram	48.25	68.20
Berat air	Gram	1.26	4.04
Berat cawan	Gram	9.55	9.83
Berat tanah kering	Gram	38.70	58.37
Kadar air	%	3.26	6.91

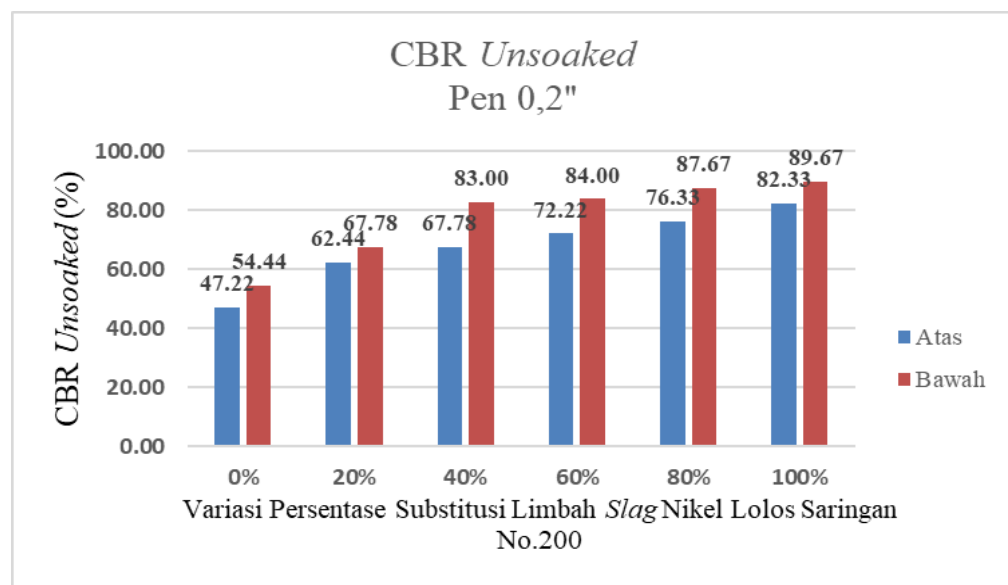
KEPADATAN		Sebelum	Sesudah
Berat tanah + cetakan	Gr	9028.00	9176.00
Berat cetakan	Gr	4017.00	4017.00
Berat tanah basah	Gr	5011.00	5159.00
Isi contoh	cm ³	2108.44	2108.44
Berat isi basah	Gr/cm ³	2.377	2.447
Berat isi kering	Gr/cm ³	2.302	2.289



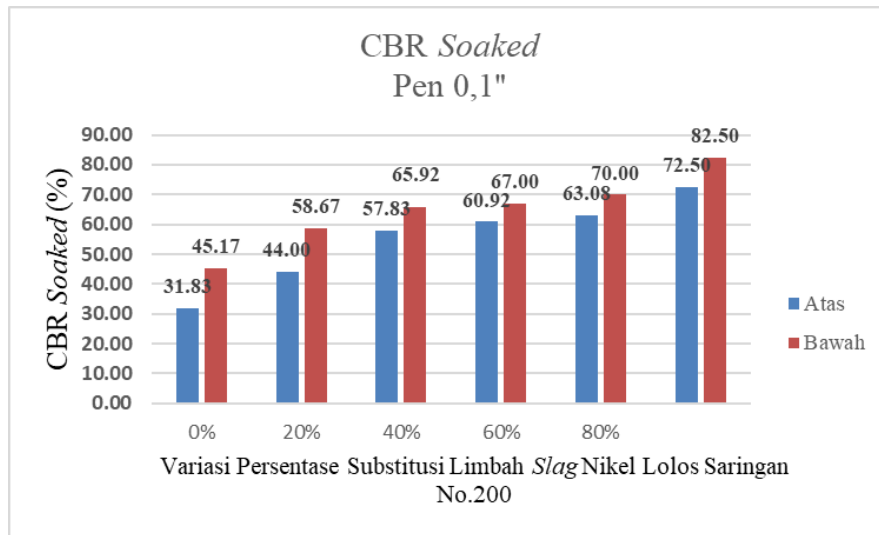
Lampiran 37 Diagram CBR *Unsoaked* Penetrasi 0,1 inci



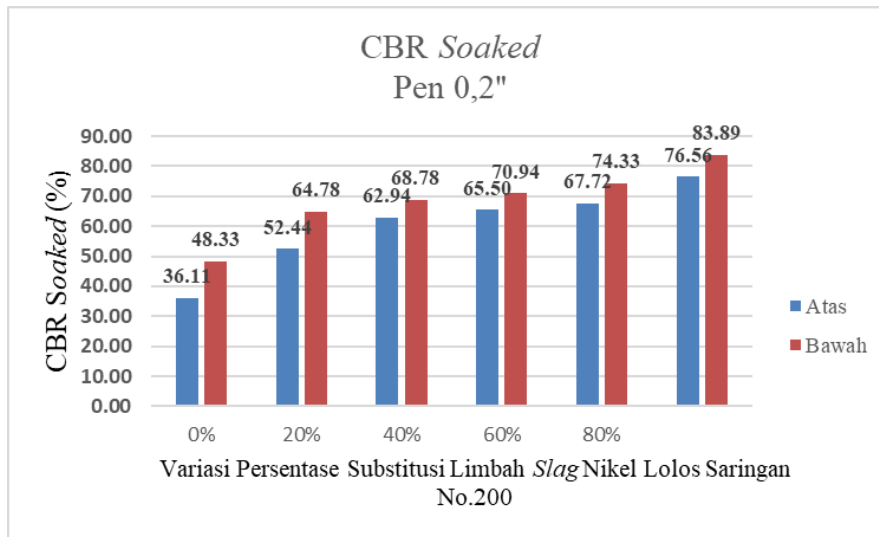
Lampiran 38 Diagram CBR *Unsoaked* Penetrasi 0,2 inci



Lampiran 39 Diagram CBR *Soaked* Penetrasi 0,1 inci



Lampiran 40 Diagram CBR *Soaked* Penetrasi 0,2 inci



Lampiran 41 Tabel Rekapitan Hasil Pengujian CBR

Komposisi <i>Fly Ash</i> <i>Slag Nikel</i>	Kepadatan Kering Maksimum (gr/cm ³)	Kadar Air Optimum (%)	Tanpa Rendaman (<i>Unsoaked</i>)				Rendaman (<i>Soaked</i>)			
			Penetrasi 0,1"		Penetrasi 0,2"		Penetrasi 0,1"		Penetrasi 0,2"	
			Atas (%)	Bawah (%)	Atas (%)	Bawah (%)	Atas (%)	Bawah (%)	Atas (%)	Bawah (%)
0%	2.234	6.6	41.67	50.00	47.22	54.44	31.83	45.17	36.11	48.33
20%	2.261	5.05	56.33	62.00	62.44	67.78	44.00	58.67	52.44	64.78
40%	2.274	4.55	64.25	80.75	67.78	83.00	57.83	65.92	62.94	68.78
60%	2.284	4.15	68.83	82.17	72.22	84.00	60.92	67.00	65.50	70.94
80%	2.297	3.5	75.00	85.67	76.33	87.67	63.08	70.00	67.72	74.33
100%	2.302	3.25	80.83	87.83	82.33	89.67	72.50	82.50	76.56	83.89

Lampiran 42 Foto Dokumentasi





