

TUGAS AKHIR

**KUAT LEKAT CAMPURAN ASPAL AC-WC MENGGUNAKAN AGREGAT
TERSELIMUT LIMBAH PLASTIK LDPE (*LOW DENSITY POLYETHYLEN*)**



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

Disusun oleh :

YOGA PANGESTU ANANDA HADI

STB. F 111 21 039

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TADULAKO**

2025

TUGAS AKHIR

KUAT LEKAT CAMPURAN ASPAL AC-WC MENGGUNAKAN AGREGAT TERSELIMUT LIMBAH PLASTIK LDPE (*LOW DENSITY POLYETHYLEN*)



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

Disusun oleh :

YOGA PANGESTU ANANDA HADI

STB. F 111 21 039

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TADULAKO**

2025

FINAL PROJECT

BOND STRENGTH OF AC-WC ASPHALT MIXTURE USING LDPE (LOW DENSITY POLYETHYLENE) PLASTIC WASTE AGGREGATE



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

Compiled by:

YOGA PANGESTU ANANDA HADI

STB. F 111 21 039

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



HALAMAN PENGESAHAN

**KUAT LEKAT CAMPURAN ASPAL AC-WC MENGGUNAKAN
AGREGAT TERSELIMUT LIMBAH PLASTIK LDPE (LOW DENSITY
POLYETHYLENE)**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

YOGA PANGESTU ANANDA HADI

F11121039

SKRIPSI

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

Pada tanggal 05 November 2025

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Tadulako,



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

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako,

A handwritten signature in black ink, 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. 19730925 200501 2 011

HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Tugas Akhir :

**KUAT LEKAT CAMPURAN ASPAL AC-WC MENGGUNAKAN AGREGAT
TERSELIMUT LIMBAH PLASTIK LDPE (LOW DENSITY POLYETHYLEN)**

Diajukan Kepada Universitas Tadulako untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh derajat
Sarjana Strata Satu Teknik Sipil

Oleh :

YOGA PANGESTU ANANDA HADI
F 111 21 039

Disetujui Untuk Diseminarkan oleh tim yang ditunjuk oleh Jurusan dalam forum Tugas
Akhir

Yang Menyetujui

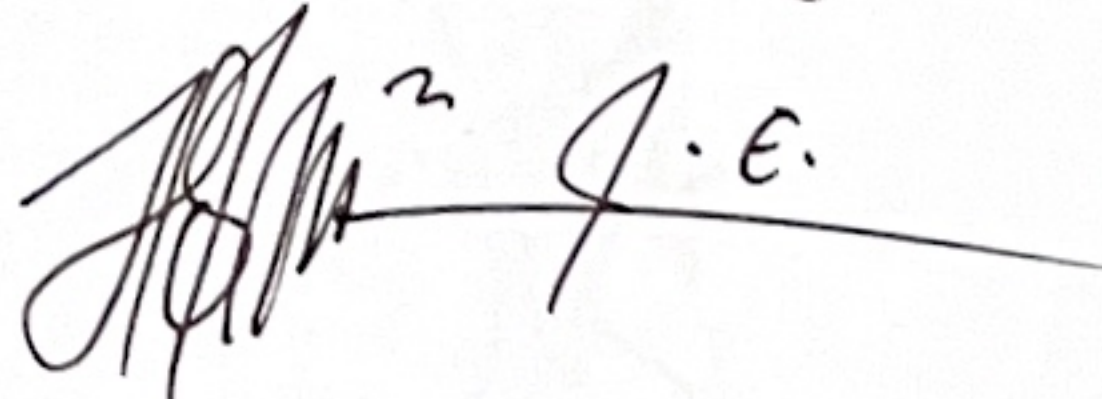
Dosen Pembimbing 1



Dr. Arief Setiawan, S.T., M.T
NIP. 19750621 200312 1 003

Palu, November 2025

Dosen Pembimbing 2



Muflihatun Nurfadillah Efendi, S.T., M.T
NIP. 19911230 202101 2 001

PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yoga Pangestu Ananda Hadi

No. Stambuk : F 111 21 039

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir ini adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan duplikasi dari orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya 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 saya bersedia menerima sanksi yang diberikan dengan segala konsekuensinya.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Palu,

2025

Yoga Pangestu Ananda Hadi
Stb. F 111 21 039

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

“ Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar “

(Q.S Ar-Rum : 60)

“ Kita hanyalah manusia. Tidak semua hal akan berjalan sesuai harapan kita. Kita sendirilah yang menentukan kebahagiaan kita “

(Nezuko)

“ Melamban bukanlah hal yang tabu, kadang itu yang kau butuh bersandar hibahkan bebanmu, tak perlu kau berhenti kurasi, ini hanya sementara, bukan ujung dari rencana “

(Perunggu-33x)

“ Menjadi dewasa adalah akumulasi dari sekian banyak kekecewaan kecil dalam hidup “

(Yoga Pangestu Ananda Hadi)

PERSEMBAHKAN

Tugas akhir ini penulis persembahkan sebagai ucapan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya kepada penulis dan kesehatan serta umur panjang kepada kedua orang tua, adik, dosen pembimbing, pacar, sahabat serta semua pihak yang membantu, mendukung dan mendoakan penulis selama proses menempuh pendidikan sarjana.

KUAT LEKAT CAMPURAN ASPAL AC-WC MENGGUNAKAN AGREGAT TERSELIMUT LIMBAH PLASTIK LDPE (*LOW DENSITY POLYETHYLENE*)

Yoga Pangestu Ananda Hadi, Arief Setiawan¹, Muflihatun Nurfadillah Efendi²

ABSTRAK

Limbah plastik Low Density Polyethylene merupakan jenis limbah plastik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai material tambahan dalam konstruksi jalan, khususnya pada lapis aus (AC-WC). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pemanfaatan limbah plastik LDPE sebagai aditif campuran aspal untuk meningkatkan kinerja perkerasan sekaligus mengurangi timbunan limbah. Metode yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 dengan agregat bergradasi sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2025. LDPE dicacah menjadi potongan kecil dan ditambahkan pada campuran dengan variasi kadar 0%, 2%, 3%, dan 4% terhadap berat aspal. Pengujian meliputi karakteristik Marshall (kepadatan, VIM, VMA, VFA, stabilitas, dan flow) serta Cantabro test untuk menilai ketahanan aus. Hasil penelitian menunjukkan semua campuran memenuhi spesifikasi. Campuran modifikasi dapat meningkatkan stabilitas dengan nilai optimum pada 3% LDPE. Uji Cantabro memperlihatkan kehilangan berat tertinggi pada campuran konvensional (6,46%) dan terendah pada campuran modifikasi (4,54%). Secara visual, campuran modifikasi hanya melepaskan butiran halus, sementara campuran konvensional melepaskan agregat kasar. Penambahan LDPE pada kadar optimum 2,1% terbukti meningkatkan stabilitas dan ketahanan aus AC-WC, sekaligus mendukung pengelolaan lingkungan berkelanjutan.

Kata kunci: AC-WC, *Low Density Polyethylene* (LDPE), Cantabro Test, keausan

ADHESION STRENGTH OF AC-WC ASPHALT MIXTURE USING AGGREGATES COATED WITH LDPE (*LOW DENSITY POLYETHYLENE*) PLASTIC WASTE

Yoga Pangestu Ananda Hadi, Arief Setiawan¹, Muflihatun Nurfadillah Efendi²

ABSTARCT

Low Density Polyethylene (LDPE) plastic waste is a type of plastic waste that has the potential to be utilized as an additional material in road construction, particularly in the wearing course layer (AC-WC). This study aims to evaluate the use of LDPE plastic waste as an additive in asphalt mixtures to improve pavement performance while simultaneously reducing plastic waste generation. The research employed 60/70 penetration grade asphalt with aggregates graded according to the 2025 Bina Marga Specifications. LDPE was shredded into small pieces and added to the mixtures at 0%, 2%, 3%, and 4% by asphalt weight. Tests conducted included Marshall characteristics (density, VIM, VMA, VFA, stability, and flow) as well as Cantabro tests to assess abrasion resistance. The results showed that all mixtures met the required specifications. Modified mixtures improved stability, with the optimum value obtained at 3% LDPE content. Cantabro tests revealed the highest weight loss in conventional mixtures (6.46%) and the lowest in modified mixtures (4.54%). Visual observations indicated that modified mixtures only released fine particles, whereas conventional mixtures tended to release coarse aggregates. The addition of LDPE at an optimum content of 2.1% was proven to enhance the stability and abrasion resistance of AC-WC mixtures while supporting sustainable environmental management.

Keywords: AC-WC, *Low Density Polyethylene* (LDPE), Cantabro Test, abrasion resistance

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, karena kuasa-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan judul **“KUAT LEKAT CAMPURAN ASPAL AC-WC MENGGUNAKAN AGREGAT TERSELIMUT LIMBAH PLASTIK LDPE (*LOW DENSITY POLYETHYLEN*)”**.

Adapun tujuan dari penyusunan Proposal penelitian ini untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil di Universitas Tadulako.

Dalam penyusunan Proposal ini penulis menyadari banyak menjumpai kendala yang disebabkan keterbatasan pengetahuan, sehingga proposal ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, atas izin-Nya melalui bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak akhirnya proposal ini dapat selesai dengan baik.

Pada kesempatan ini, penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada bapak **Dr. Arief Setiawan, ST., MT.**, selaku pembimbing satu dan Ibu **Muflihatun Nurfadillah Efendi, ST., MT.** selaku pembimbing dua. Untuk para pembimbing yang telah meluangkan waktu, serta kesabaran dalam memberikan arahan, motivasi dan saran-saran yang sangat berharga bagi penulis selama proses penyusunan Proposal penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak **Ir.Andi Arham Adam, ST, MSc., Ph.D** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
2. Bapak **Dr. Sriyati Ramadhani, S.T., M.T** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
3. Ibu **Dr. Ir. Astri Rahayu, ST., MT.** selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, beserta sekretaris.
4. Ibu **Rahmatang Rahman, ST., MT.**, selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian (KDK) Transportasi Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
5. Bapak **Ir.Andi Arham Adam, ST, MSc., Ph.D.**, selaku Dosen Wali yang telah memberikan banyak nasehat dan arahan selama melaksanakan studi di Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
6. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Tadulako yang telah berkenan mendidik dan mengajar penulis selama melaksanakan studi di Fakultas Teknik Universitas Tadulako

7. Staf tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Tadulako yang telah membantu pengurusan administrasi selama penulisan menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
8. Bapak **Yudhiyanto Hadi**, Ibu **Adira Ahmad** selaku orang tua, **Yudha P. A. Hadi**, dan **Yuqi P. A. Hadi** (kakak) yang telah mendidik dan membesarkan penulis tanpa kenal lelah, serta selalu memberikan segala dukungan, motivasi serta mendoakan penulis selama masa perkuliahan dan dalam menyelesaikan Proposal Penelitian Tugas Akhir.
9. Terimakasih kepada Teman teman **Rumah Yoga**, dan Teman teman **Romusha** yang senantiasa mendoakan, memberikan semangat dan motivasi selama masa kuliah dan dalam menyelesaikan Proposal Penelitian Tugas Akhir.
10. Terima Kasih kepada sahabat-sahabat penulis dan teman-teman seangkatan **Teknik Sipil 21** lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, yang dari awal menemani perkuliahan sampai saat ini.

Akhir kata, penulis menyadari dalam penyusunan Proposal ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis harapkan saran dan kritikan yang bersifat mendidik serta dukungan yang membangun, senantiasa penulis terima dengan lapang dada.

Palu, November 2025

Yoga Pangestu Ananda Hadi

F 111 21 039

DAFTAR ISI

PROPOSAL TUGAS AKHIR	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	I-14
1.1 Latar Belakang	I-14
1.2 Rumusan Masalah.....	I-2
1.3 Tujuan Penelitian	I-2
1.4 Manfaat Penelitian	I-3
1.5 Batasan Masalah	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Perkerasan Jalan.....	II-1
2.2 Aspal Beton.....	II-1
2.2.1 Pengertian Aspal Beton	II-1
2.2.2 Material dan Spesifikasi Penyusun Aspal Beton	II-2
2.3 Pengujian Aspal dan Agregat.....	II-5
2.3.1 Pengujian Aspal.....	II-5
2.3.2 Pengujian Agregat	II-7
2.4 Karakteristik Campuran Aspal Beton	II-7
2.5 Penentuan Volumetrik Campuran Beton Beraspal Melalui Uji <i>Mashall</i>	II-10
2.6 Plastik <i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	II-13
2.7 <i>Cantabro Test</i>	II-14
BAB III METODE PENELITIAN	III-1
3.1 Bagan Alir Penelitian.....	III-1
3.2 Pengambilan Material	III-3

3.2.1 Lokasi Pengambilan Material.....	III-3
3.2.2 Metode Pengambilan Material	III-4
3.3 Pengujian Material.....	III-5
3.3.1 Pengujian Beton Aspal	III-5
3.3.2 Pengujian Agregat	III-7
3.3.3 Pengujian Material Aditif	III-9
3.4 Perancangan Campuran (<i>Mix Design</i>) Beton Aspal	III-10
3.5 Tahapan Pembuatan Benda Uji.....	III-10
3.5.1 Pembuatan Benda Uji Perkiraan Kadar Aspal Optimum (PKAO)	III-10
3.5.2 Pembuatan Benda Uji Kadar Aspal Optimum (KAO)	III-11
3.5.3 Pembuatan Benda Uji Campuran Laston AC-WC dengan plastik LDPE.	III-11
3.5.4 Menentukan Jumlah Benda Uji	III-11
3.6 Tahapan Pengujian Benda Uji.....	III-12
3.7 Tahapan Pengolahan Data.....	III-13
3.8 Tahapan Analisis Data	III-13
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1 Hasil Pemeriksaan Uji Mutu Agregat	IV-1
4.1.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan.....	IV-1
4.1.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	IV-3
4.1.3 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	IV-4
4.1.4 Hasil Pengujian Abrasi	IV-5
4.2 Hasil Pemeriksaan Aspal	IV-5
4.3 Pemeriksaan Plastik LDPE	IV-6
4.4 Gradasi Campuran.....	IV-7
4.5 Pembuatan dan Uji Spesimen untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum	IV-8
4.6 Perhitungan dan Penentuan Kadar Plastik yang Paling Efektif	IV-11

4.6.1 Perhitungan Variasi Kadar Plastik	IV-11
4.6.2 Penentuan Kadar Plastik Optimum	IV-14
4.7 Ketahanan Campuran Aspal Terhadap Keausan.....	IV-18
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran.....	V-2
DAFTAR PUSTAKA	P-1
LAMPIRAN.....	L-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Volumetrik Campuran Beraspal	II-10
Gambar 2.2 Proses Pencacahan Limbah Plastik	II-14
Gambar 2.3 Alat <i>Los Angeles</i> untuk pengujian <i>Cantabro</i>	II-15
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	III-1
Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Agregat Kasar, Agregat Halus dan Abu Batu di PT Hasal Logam Utama	III-3
Gambar 3.3 Lokasi Pengambilan Material Aspal Pertamina PEN 60\70 di PT Agro Yasa Mandiri	III-3
Gambar 3.4 Lokasi Pengambilan Plastik LDPE di TPA Kawatuna	III-4
Gambar 3.5 Proses Pembuatan Benda Uji dengan Penambahan Plastik Metode Kering	III-11
Gambar 4.1 Gradasi Fraksi $\frac{3}{4}$	IV-1
Gambar 4.2 Gradasi Fraksi $\frac{3}{8}$	IV-2
Gambar 4.3 Gradasi Abu Batu	IV-3
Gambar 4.4 Analisa Saringan Gradasi Rencana	IV-8
Gambar 4.5 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i>	IV-9
Gambar 4.6 Penentuan Kadar Aspal Optimum	IV-10
Gambar 4.7 Hasil penyelimutan agregat kasar dengan plastik LDPE 2%	IV-12
Gambar 4.8 Hasil penyelimutan agregat kasar dengan plastik LDPE 3%	IV-13
Gambar 4.9 Hasil penyelimutan agregat kasar dengan plastik LDPE 4%	IV-13
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i>	IV-15
Gambar 4.11 Abrasion Loss pada Campuran Konvensional dan Modifikasi	IV-19
Gambar 4.12 Benda Uji Campuran Modifikasi Sebelum dan Setelah Pengujian (a) Konvensional (b) Modifikasi	IV-20

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Aspal PEN 60/70	II-3
Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar	II-4
Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus	II-4
Tabel 2.4 Persyaratan <i>Filler</i>	II-5
Tabel 3.1 Jumlah benda uji penentuan kadar aspal optimum (PKAO).....	III-12
Tabel 3.2 Jumlah benda uji untuk pemeriksaan KAO dengan pengujian <i>Marshall</i> ...	III-12
Tabel 3.3 Jumlah benda uji untuk pemeriksaan campuran dengan variasi penambahan plastik dengan pengujian <i>Marshall</i>	III-12
Tabel 3.4 Jumlah benda uji untuk pemeriksaan kuat lekat butir agregat dengan pengujian <i>Cantabro</i>	III-12
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan	IV-1
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi 3/4	IV-3
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi 3/8	IV-3
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi Abu Batu	IV-4
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200	IV-4
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Abrasi.....	IV-5
Tabel 4.7 Hasil Pemeriksaan Aspal Pen 60/70	IV-5
Tabel 4.8 Hasil Pecacahan Plastik LDPE.....	IV-6
Tabel 4.9 Titik Leleh Plastik	IV-6
Tabel 4.10 Hasil Saringan Agregat Dengan Gradasi Ideal	IV-7
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Sifat-Sifat Campuran Benda Uji PKAO	IV-8
Tabel 4.12 Sifat-Sifat Campuran Benda Uji KAO	IV-10
Tabel 4.13 Efektivitas Penyelimutan Agregat Kasar terhadap Plastik LDPE.....	IV-14
Tabel 4.14 Sifat-Sifat Campuran dengan Penambahan Plastik LDPE	IV-14
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Cantabro Test Campuran Konvensional	IV-19
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Cantabro Test Campuran Modifikasi.....	IV-19

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian Analisa Saringan 3/4	L-1
Lampiran 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan 3/8	L-2
Lampiran 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Abu Batu.....	L-3
Lampiran 4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 3/4	L-4
Lampiran 5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 3/8	L-5
Lampiran 6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	L-6
Lampiran 7 Hasil Pengujian Abrasi 3/4	L-7
Lampiran 8 Hasil Pengujian Abrasi 3/8	L-8
Lampiran 9 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal PEN 60/70	L-9
Lampiran 10 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal PEN 60/70	L-10
Lampiran 11 Hasil Pengujian Daktalitas Aspal PEN 60/70	L-11
Lampiran 12 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal PEN 60/70	L-12
Lampiran 13 Hasil Pengujian Viskositas Aspal PEN 60/70	L-13
Lampiran 14 Dokumentasi.....	L-14

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

NOTASI/SINGKATAN	ARTI DAN KETERANGAN
AC-WC	permukaan (lapis aus) yang tahan terhadap cuaca, gaya geser, dan tekanan roda serta memberikan lapis kedap air yang dapat melindungi lapis di bawahnya dari rembesan air
AC-BC	lapis pengikat
AC-Base	lapis pondasi
ASTM	American Society for Testing and Materials
C ₂ H ₄	Senyawa etilena
CH ₂	Senyawa metilena
<i>Flow</i>	Defrormasi vertikal sampel yang terjadi sejak awal pembebanan hingga mencapai kondisi kestabilan maksimum hingga sampel hancur
HDPE	<i>High Density Polyethylene</i>
KAO	Kadar aspal optimum
LDPE	<i>Low Density Polyethylene</i>
PKAO	Perkiraan kadar aspal optimum
Pb	Perkiraan kadar aspal rencana
Sa	Stabilitas Sisa
VFB	Rongga udara terisi aspal
VIM	Rongga udara pada campuran
VMA	Rongga udara pada mineral agregat

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan aktivitas manusia, baik dalam sektor industri maupun konsumsi rumah tangga, telah menyebabkan lonjakan signifikan dalam produksi limbah. Salah satu jenis limbah yang mendominasi adalah limbah plastik, yang volumenya terus meningkat seiring dengan gaya hidup praktis dan penggunaan barang sekali pakai. Di antara berbagai jenis plastik, *Low-Density Polyethylene (LDPE)* merupakan salah satu yang paling banyak digunakan, terutama dalam bentuk kantong belanja, bungkus makanan, dan kemasan produk sehari-hari. LDPE memiliki karakteristik lentur, tahan air, dan ringan, sehingga sangat digemari untuk kebutuhan kemasan. Namun, di balik kepraktisannya, LDPE memiliki kelemahan utama, yaitu sifatnya yang sulit terurai secara alami. Proses degradasi plastik ini bisa memakan waktu ratusan tahun, sehingga menjadikannya sebagai salah satu penyumbang utama pencemaran lingkungan, khususnya di darat dan laut. Meskipun plastik berfungsi dalam kehidupan manusia, ia hanya menjadi sampah setelah digunakan. Menurut data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), Indonesia menghasilkan 25,66 juta ton sampah pada tahun 2024, dengan persentase sampah plastik sebesar 19,71 persen.

Di sisi lain, sektor konstruksi jalan menghadapi tantangan untuk terus berinovasi dalam penggunaan material yang tidak hanya memiliki nilai ekonomis, tetapi juga memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan. Seiring meningkatnya kesadaran akan pentingnya pembangunan yang berwawasan lingkungan, muncul kebutuhan untuk mencari alternatif bahan konstruksi yang dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas. Salah satu pendekatan inovatif yang kini banyak diteliti adalah pemanfaatan limbah plastik, khususnya *Low-Density Polyethylene (LDPE)*, sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal. Penggunaan LDPE dalam campuran aspal beton, terutama pada lapis aus atau *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*, dinilai potensial karena mampu meningkatkan kinerja aspal sekaligus membantu mengurangi pencemaran lingkungan akibat akumulasi limbah plastik (Lombogja dkk., 2022). AC-WC sendiri merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan jalan, yang secara langsung bersentuhan dengan beban lalu lintas dan cuaca. Kualitas lapisan ini sangat menentukan kenyamanan berkendara, daya tahan jalan, serta keselamatan pengguna jalan. Inovasi ini

tidak hanya mendukung pembangunan infrastruktur yang lebih tangguh, tetapi juga menjadi langkah nyata dalam mendukung prinsip ekonomi sirkular melalui pemanfaatan kembali limbah yang sulit terurai. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah limbah tersebut, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat telah menggunakan aspal plastik dari limbah plastik jenis LDPE sejak tahun 2018. Penambahan plastik ke dalam campuran perkerasan dapat meningkatkan ketahanan terhadap *deformasi*, keausan, dan retak, serta mampu meningkatkan nilai stabilitas *Marshall* hingga 40% atau lebih (Bina Marga, 2025) .

Berdasarkan permasalahan diatas maka peneliti mencoba untuk melakukan pengurangan limbah melalui campuran aspal modifikasi dengan penambahan polimer. Jenis polimer yang digunakan adalah *Low Density Polyethylene*. Pemilihan jenis polimer yang akan digunakan dipilih berdasarkan Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik. Dalam penelitian sebelumnya, ditemukan bahwa jenis polimer LDPE *Marshall* memiliki nilai stabilitas sisa 50 persen lebih baik dibandingkan dengan *High Density Polyethylene* (HDPE), dengan 7,5 gram plastik LDPE ditambahkan (Latif & Setiawan, 2023).

Sehingga pada penelitian ini digunakan jenis LDPE berupa kantong belanjaan dengan metode kering untuk mengetahui karakteristik campuran aspal AC-WC terhadap pelepasan butir agregat akibat *Cantabro test*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka pokok permasalahan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan plastik LDPE terhadap ketahanan keausan permukaan campuran aspal AC-WC, ditinjau dari presentase kehilangan berat berdasarkan hasil pengujian *Cantabro test*?
2. Bagaimana kinerja campuran aspal beton modifikasi dengan penambahan plastik LDPE dalam menahan kehilangan butir agregat akibat *Cantabro test*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan manfaat antara lain :

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan plastik LDPE terhadap ketahanan keausan permukaan campuran aspal AC-WC, ditinjau dari presentase kehilangan berat berdasarkan hasil pengujian *Cantabro test*.
2. Untuk mengetahui performa campuran aspal beton modifikasi dengan penambahan plastik LDPE dalam menahan kehilangan butir agregat akibat *Cantabro test* .

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Bagi Universitas
Penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk menambah referensi sebagai bahan penelitian lanjutan yang lebih mendalam pada masa yang akan datang.
2. Bagi Peneliti
Untuk meningkatkan pemahaman tentang pengaruh penambahan limbah plastik LDPE terhadap campuran aspal beton.
3. Bagi Pihak Lain
sebagai salah satu upaya untuk mengurangi limbah kantong plastik dan sebagai bahan referensi pada bidang konstruksi jalan dengan pemanfaatan limbah.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Campuran beton aspal yang digunakan adalah lapis aus atau *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC).
2. Aspal penetrasi 60/70 Pertamina yang digunakan diambil dari PT. Agro Yasa Mandiri yang terletak di Jl. Diponegoro, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah.
3. Agregat yang digunakan diambil dari pabrik pengolahan batu PT. Hasal Logam Utama yang terletak di Kelurahan Watusampu, Kecamatan Ulujadi, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah.
4. Plastik jenis LDPE diambil dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kawatuna, yang terletak di Kelurahan Kawatuna, Kecamatan Mantikulore, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah.
5. Metode pencampuran menggunakan metode pencampuran kering (*dry process*).
6. Gradasi yang digunakan adalah gradasi nilai tengah sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2025.
7. Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pemeriksaan campuran dengan pengujian *Cantabro test* untuk menentukan ketahanan lapis perkerasan terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*.
8. Peraturan dalam penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2025 dan Pusat Litbang Jalan dan Jembatan tentang Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik (Pd 09 – 2019 – B).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Tanah biasanya tidak cukup kuat dan tahan terhadap beban roda yang berulang. Untuk mencapai hal ini, diperlukan lapis tambahan yang terletak antara roda dan tanah, atau lapis paling atas dari badan jalan. Lapis tambahan ini dapat dibuat dari bahan khusus yang dipilih, yang dikenal sebagai lapis keras, lapis perkerasan, atau *pavement*. Menurut (Sukirman, 2010) terdapat tiga jenis perkerasan jalan, yaitu sebagai berikut :

1. Konstruksi perkerasan lentur, juga dikenal sebagai *flexible pavement*, dibuat dengan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan perkerasannya memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku, juga dikenal sebagai *rigid pavement*, adalah perkerasan yang menggunakan semen Portland sebagai bahan pengikat. Pelat beton, yang dapat dipasang dengan atau tanpa tulangan, diletakkan di atas tanah dasar, dengan lapis pondasi bawah yang disertakan. Pelat beton sebagian besar bertanggung jawab atas beban lalu lintas.
3. Konstruksi perkerasan komposit, juga dikenal sebagai struktur *composite pavement*, terdiri dari perkerasan kaku di atas perkerasan lentur atau perkerasan lentur di atas perkerasan kaku.

2.2 Aspal Beton

2.2.1 Pengertian Aspal Beton

Aspal beton adalah jenis lapis perkerasan lentur (*flexible pavement*). Aspal beton (*Asphalt Concret*) juga dikenal sebagai Laston atau Lapisan Aspal Beton, adalah campuran panas antara agregat bergradasi yang diterus dengan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Kemudian dihampar dan dipadatkan untuk membentuk struktur yang saling mengunci (*interlocking structure*), yang bertanggung jawab atas kekuatan kinerja lapis keras aspal beton (Suryadi, 2020) .

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2025, lapis aspal beton (Laston) yang disebut AC terdiri dari tiga jenis aspal beton, yaitu aspal beton lapis aus (AC-WC), aspal beton lapis antara (AC-BC), dan aspal beton lapis pondasi (AC-Base), dengan ukuran agregat maksimum 19 milimeter, 25,4 milimeter, dan 37,5 milimeter. Setiap jenis campuran aspal beton yang menggunakan aspal polimer disebut sebagai modifikasi AC-WC, AC-BC, dan

AC-BC Ketebalan minimal untuk setiap lapisan adalah 4 cm untuk lapis aus (AC-WC), 6 cm untuk lapis antara (AC-BC), dan 7,5 cm untuk lapis pondasi (AC-Base).

Laston Lapis Aus *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) adalah lapisan perkerasan beraspal yang berada pada lapisan paling atas atau berfungsi sebagai lapisan aus. Meskipun tidak struktural, AC-WC memiliki kemampuan untuk meningkatkan daya tahan perkerasan jalan beraspal, yang pada gilirannya meningkatkan masa pelayanan konstruksi. Jika dibandingkan dengan jenis laston lainnya, ini memiliki tekstur yang paling halus dan kadar aspal yang paling tinggi.

2.2.2 Material dan Spesifikasi Penyusun Aspal Beton

1. Aspal

Aspal adalah campuran kompleks yang terutama terdiri dari bitumen, yang merupakan bahan yang dihasilkan dari sisa-sisa pengilangan minyak bumi. Bitumen sangat lengket dan menghasilkan viskus, yang membuatnya sangat cocok untuk digunakan sebagai pengikat saat membangun jalan. Aspal dapat menahan tekanan dan beban dari kendaraan karena kekuatan perekatnya. Selain itu, ini berkontribusi pada pembentukan permukaan jalan yang rata dan tahan terhadap *deformasi*.

Menurut (Absyah & Hartatik, 2023), aspal beton adalah salah satu jenis lapis perkerasan yang digunakan dalam konstruksi perkerasan lentur, di mana agregat dan aspal dicampur secara merata sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari berbagai lapisan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan ini menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya. Susunan lapis perkerasan lentur terdiri dari :

- a. Lapis Permukaan (*surface course*)
- b. Lapis Pondasi Atas (*base course*)
- c. Lapis Pondasi Bawah (*subbase course*)
- d. Lapis Tanah Dasar (*subgrade*)

Nilai penetrasi atau viskositas adalah cara semen aspal dibedakan. Spesifikasi aspal Pen 60/70 yaitu semen aspal dengan nilai penetrasi antara 60 dan 70 hanya digunakan di Indonesia saat ini. Spesifikasi aspal Pen 60/70 diatur oleh SNI 8135:2015, yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Aspal PEN 60/70

No.	Uraian	Satuan	Metoda	Penetrasi	
				Min	Maks
1.	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 det	0,1 mm	SNI 2456:2011		
2.	Titik Nyala, Cleveland Open Cup	°C	SNI 2433:2011	232	-
3.	Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit	Cm	SNI 2432:2011	100	-
4.	Kelarutan dalam TCE Thin Film Oven tes, 3,2 mm, 163°C, 5 jam	%	SNI 06-2436-1991	99	-
5.	- . Penurunan Berat	%	SNI 06-2440-1991	-	0,8
	- . Penetrasi	% asli	SNI 2456:2011	54	-
	- . Daktilitas residu pada 25°C, 5 cm/menit	Cm	SNI 2432:2011	50	-
6.	Titik Lembek	°C	SNI 2434:2011	48	-
7.	Berat Jenis	kg/m³	SNI 2441:2011	1	-

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (Spesifikasi Umum Bina Marga 2025)

2. Agregat

Agregat adalah campuran batu-batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya yang berasal dari alam atau buatan. Agregat sangat penting untuk sistem transportasi, terutama dalam konstruksi perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan sebagian besar ditentukan oleh sifat agregat yang digunakan. Keberhasilan proyek pembangunan jalan sangat bergantung pada pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi syarat. Agregat, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi, digunakan bersama dengan media pengikat untuk membuat beton semen hidrolik atau adukan. Agregat adalah bahan yang keras dan padat yang terdiri dari mineral padat dan dapat berupa fragmen atau masa berukuran besar. Agregat sangat penting untuk struktur perkerasan jalan, dengan persentase berat 90-95% dan persentase volume 75-85% (Dinar & Primasworo, 2023).

Agregat dapat dibagi menjadi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Batasan untuk masing-masing agregat seringkali bervariasi tergantung pada institusi yang menetapkan. Menurut (Harta & Fadhli, 2022) secara keseluruhan agregat dikategorikan menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu:

- a. Agregat kasar adalah batuan yang tertahan di saringan 2,36 mm, atau sama dengan saringan standar ASTM No.8, dan sangat penting untuk campuran agregat-aspal untuk membentuk kinerja karena mempertahankan stabilitas campuran melalui *interlocking* antar agregat. Sangat penting bagi agregat kasar untuk memiliki ketahanan abrasi yang tinggi, terutama ketika digunakan sebagai permukaan atau lapis aus AC-WC.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap	Natrium Sulfat	SNI 3407-2008	Maks. 12%
	Magnesium Sulfat		Maks. 8%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC modifikasi dan	SNI 2417-2008	Maks. 6%
	100 Putaran		Maks. 30%
	500 Putaran		Maks. 8%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439-2011	Min. 95%
Butir pecah terhadap agregat kasar	SMA	SNI 7619-2012	100/90*
	Lainnya		95/90**
Partikel pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10	Maks. 5%
	Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material Lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (Spesifikasi Umum Bina Marga 2025)

Catatan :

- 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.
- b. Agregat halus adalah batuan yang lolos saringan N0.8 (2,36 mm) dan tetap di saringan No. 200 (0,075 mm) untuk memberikan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen campuran melalui gesekan dan *interlocking* antar partikel.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Standar	Syarat Maks./Min.
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Material lolos saringan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Kadar Lempung	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (Spesifikasi Umum Bina Marga 2025)

- c. Mineral pengisi, juga dikenal sebagai *filler*, adalah material yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Jumlah *filler* dapat membantu mengurangi rongga dalam

campuran, tetapi jumlah *filler* harus dibatasi. Kadar *filler* yang terlalu tinggi atau rendah cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan mudah retak karena beban lalu lintas. Sebaliknya, kadar *filler* yang terlalu rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada suhu yang lebih tinggi. *Filler* mengubah gradasi pasir dalam campuran aspal dengan membuat campuran lebih padat dengan lebih banyak titik kontak antara utiran partikel, sehingga mengurangi jumlah aspal yang mengisi rongga udara.

Tabel 2.4 Persyaratan *Filler*

Pengujian	Metode Pengujian	Syarat
Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)	SNI ASTM C136:2012	Min 75%
Berat Jenis	SNI 03-4145-1991	3,0 - 3,2

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (Spesifikasi Umum Bina Marga 2025)

2.3 Pengujian Aspal dan Agregat

2.3.1 Pengujian Aspal

Pengujian aspal perlu dilakukan untuk dapat mengetahui apakah aspal yang digunakan pada penelitian sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan. Beberapa pemeriksaan aspal yang biasa dilakukan adalah penetrasi, berat jenis, titik lembek, daktilitas, titik nyala dan titik bakar, kehilangan berat dan kelekatan aspal pada agregat. Pemeriksaan yang dilakukan pada penelitian ini adalah penetrasi, titik lembek, berat jenis, daktilitas, viskositas, titik nyala dan kehilangan berat akibat pemanasan.

1. Penetrasi

Penetrasi adalah parameter penunjuk konsistensi aspal secara empiris dengan menunjukkan nilai kekerasan aspal. Pengujian penetrasi dilakukan dengan menggunakan jarum penetrasi berdiameter 1 mm dan beban 50 gram. Berat jarum dan beban menjadi 100 gram. Nilai penetrasi adalah kedalaman jarum yang diberi beban masuk ke dalam contoh aspal selama 5 detik dan dilakukan pada temperatur 25°C dibaca pada arloji pengukur, dalam satuan 0,1 mm.

2. Titik Lembek

Uji titik lembek dilakukan untuk mendapatkan informasi pada temperatur berapa aspal berubah fase dari bentuk padat ke bentuk cair. Temperatur ini dibutuhkan selama pelaksanaan pekerjaan pembuatan lapisan beton aspal. Pengujian titik lembek aspal bertujuan untuk mengetahui besaran suhu titik lembek aspal. Titik lembek dinyatakan

dengan suhu pada saat bola baja dengan berat tertentu mendesak turun pada lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi 25,4 mm sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu.

3. Berat Jenis

Berat jenis aspal merupakan salah satu persyaratan yang harus terpenuhi karena akan berpengaruh pada kekuatan campuran aspal panas. Berat jenis adalah pemeriksaan berat jenis aspal yang akan menjadi informasi selanjutnya dalam mencari besaran tes pada waktu pelaksanaan pekerjaan. Batasan minimal yang dicantumkan dalam spesifikasi syarat berat jenis di atas 1,0 gram/cc.

4. Daktilitas

Pengujian daktilitas adalah cara uji tidak langsung untuk menunjukkan sifat adhesi dan kohesi aspal. Pengujian dilakukan dengan mencetak aspal dalam cetakan dan meletakkan benda uji ke dalam tempat pengujian yang berisi cairan dengan berat jenis yang mendekati berat jenis aspal. Nilai daktilitas aspal adalah panjang benda uji aspal ketika putus pada saat dilakukan penarikan dengan kecepatan 5 cm/menit.

5. Viskositas

Viskositas adalah parameter yang menunjukkan kekentalan aspal. Semakin tinggi temperatur maka nilai viskositas semakin rendah, karena aspal semakin encer.

6. Titik Nyala dan Titik Bakar

Titik nyala merupakan temperatur terendah dimana uap benda uji dapat menyala (nyala biru singkat) apabila dilewatkan api penguji. Titik bakar merupakan temperatur terendah ketika uap benda uji terbakar selama minimum 5 detik apabila dilewatkan api penguji. Tujuan pengujian untuk mengetahui besaran suhu dimana terlihat nyala singkat < 5 detik (titik nyala) dan terlihat nyala minimal 5 detik (titik bakar) di atas permukaan aspal.

7. Kehilangan Berat Akibat Pemanasan

Kehilangan berat akibat pemanasan bertujuan untuk mengetahui minyak pada aspal akibat pemanasan berulang dan untuk perubahan kinerja aspal.

2.3.2 Pengujian Agregat

Dilakukan pengujian sesuai dengan ketentuan untuk mempersiapkan agregat yang akan digunakan. Sifat aspal beton sangat dipengaruhi oleh penggunaan agregat saat dibuat. Semua ukuran butiran, gradasi, penyerapan, bentuk partikel, tekstur permukaan, dan kelekatan terhadap aspal diperiksa. Hanya analisis saringan, berat jenis agregat, dan pemeriksaan abrasi yang dilakukan selama penelitian ini.

1. Analisa Saringan

Analisa saringan bertujuan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar. Ukuran butiran tanah ditentukan dengan menyaring sejumlah tanah melalui seperangkat saringan yang disusun dengan lubang yang paling besar berada paling atas dengan ukuran saringan yang digunakan ($\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", #4, #8, #16, #30, #50 dan #200).

2. Berat Jenis

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan volume air. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal, karena pada umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga menentukan banyak pori. Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak. Dan sebaliknya, agregat dengan berat jenis yang besar tidak membutuhkan aspal yang banyak.

3. Abrasi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan batuan atau daya tahan aus batuan. Dalam hal ini adalah agregat kasar akibat gesekan atau perputaran yang dinyatakan dalam persentase. Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin abrasi (*Los Angeles*). Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan berat antara berat bahan aus lewat saringan No.12 terhadap berat semula yang dalam persen

2.4 Karakteristik Campuran Aspal Beton

Campuran aspal beton adalah bahan yang digunakan untuk lapisan perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat kasar, agregat sedang, dan halus serta bahan mineral sebagai pengisi, dan aspal digunakan sebagai pengikat dalam proporsi yang tepat dan dengan perencanaan yang tepat. Diharapkan lapis perkerasan yang tahan lama dan mampu menahan

beban lalu lintas sesuai rencana jika campuran tersebut dibuat dengan proporsi yang tepat. Terlebih dahulu, komposisi bahan yang digunakan dalam campuran direncanakan untuk memenuhi beberapa sifat campuran. Aspal beton harus memenuhi tujuh persyaratan campuran (Yunus dkk., 2021), di antaranya :

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Faktor- faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas aspal beton antara lain :

- a. Gesekan internal yaitu gesekan yang terjadi karena kekasaran permukaan butir agregat, luas bidang kontak antar butir, bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Stabilitas terbentuk dari gesekan *internal* yang terjadi di antara butir agregat yang saling mengunci.
- b. Kohesi merupakan gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara kontak antar butir agregat.

2. Durabilitas

Durabilitas atau keawetan yaitu kemampuan aspal beton dalam menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya rongga dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara homogen, sehingga aspal beton akan lebih kedap air sehingga aspal beton memiliki kemampuan menahan keausan. Sebaliknya, semakin tipis selimut aspal maka aspal beton semakin mudah *bleeding* (naiknya aspal kepermukaan jalan), yang mengakibatkan jalan semakin licin. Semakin besar rongga yang tersisa, mengakibatkan aspal beton semakin tidak kedap air. Semakin banyak udara di dalam aspal beton, menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara, menjadi getas, dan durabilitas nya menurun.

3. Fleksibilitas

Fleksibilitas atau kelenturan yaitu kemampuan aspal beton untuk menyesuaikan diri akibat terjadinya penurunan pondasi atau tanah dasar (konsolidasi atau *settlement*),

tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi karena repetisi beban lalu lintas, ataupun akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. *Fleksibilitas* dapat ditingkatkan menggunakan kadar aspal yang tinggi dan agregat bergradasi terbuka.

4. *Fatigue Resistance*

Fatigue Resistance atau ketahanan terhadap kelelahan yaitu kemampuan aspal beton ketika menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*). *Fatigue Resistance* dapat dicapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.

5. Kekesatan Permukaan

Kekesatan permukaan atau *skid resistance* yaitu kemampuan permukaan aspal beton yang memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip terutama pada kondisi basah. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama seperti faktor-faktor untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan butir agregat, luas bidang kontak antar butir, bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal *film* aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Sehingga agregat yang digunakan tidak hanya mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan sehingga permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

6. Impermeabilitas (Kedap Air)

Impermeabilitas (kedap air) yaitu kemampuan aspal beton untuk kedap terhadap air ataupun udara agar tidak masuk ke lapisan aspal beton. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan *film* atau selimut aspal dari permukaan agregat. Setelah aspal beton dipadatkan jumlah rongga yang tersisa dapat menjadi indikator kekedapan campuran. Tingkat impermeabilitas aspal beton berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

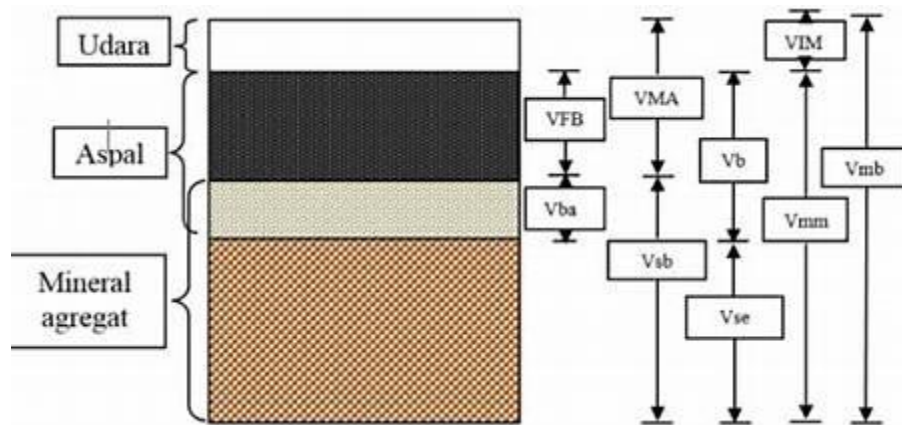
7. *Workability*

Workability atau kemudahan pelaksanaan yaitu kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

Jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaan maka revisi atau koreksi dapat dilakukan terhadap rancangan campuran.

2.5 Penentuan Volumetrik Campuran Beton Beraspal Melalui Uji *Marshall*

Mengukur volumetrik campuran beton beraspal dapat membantu menentukan sifat beton beraspal yang telah dipadatkan baik di laboratorium maupun hasil *coring* di lapangan (Pradana & Hartatik, 2023). Bruce *Marshall* menemukan metode *Marshall* untuk rancangan campuran. Tujuan dari pengujian *Marshall* adalah untuk mengukur daya tahan, atau stabilitas, campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis, atau aliran. Perubahan deformasi atau regangan suatu campuran mulai dari beban bebas sampai beban maksimum disebut *flow*. Alat *Marshall* adalah alat tekan yang dilengkapi dengan *flow* meter dan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs). *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flow* meter digunakan untuk mengukur kelelahan plastis atau aliran. Benda uji *Marshall* standar berbentuk silinder dan tingginya 2,5 inci (6,35 cm).



Gambar 2.1 Volumetrik Campuran Beraspal

Sumber: (Pradana & Hartatik, 2023)

Sifat-sifat campuran aspal beton dapat dilihat dari parameter-parameter pengujian *Marshall* antara lain :

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas merupakan campuran aspal beton yang dapat menahan beban sampai terjadi kelelahan plastis atau dengan arti lain lapis keras yang mampu menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk yang tetap seperti alur (*rutting*) dan gelombang (*washboarding*). Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Stabilitas

adalah parameter yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat keruntuhan terjadi yang dinyatakan dalam kilogram (kg). Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang.

2. Kelelahan (*flow*)

Flow merupakan besarnya penurunan atau deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan yang mengakibatkan stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi akibat menahan beban yang diterima pada suatu lapis perkerasan. Cara memperoleh nilai *flow* sama halnya dengan nilai stabilitas yaitu masing-masing nilai ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja jarum dial *flow* biasanya dalam satuan mm (millimeter). Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan. Suatu campuran yang memiliki kelelahan yang rendah akan lebih kaku dan cenderung untuk mengalami retak dini pada usia pelayanannya, sedangkan nilai kelelahan yang tinggi mengindikasikan campuran bersifat plastis.

3. Hasil Bagi *Marshall* (*Marshall Quetient*)

Hasil bagi *Marshall* merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan. Semakin tinggi nilai (*Marshall Quetient*) MQ, maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan sedangkan nilai MQ yang terlalu rendah dapat berakibat alur dan *bleeding*. Semakin besar nilai MQ berarti campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur sehingga mudah retak sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur dan plastis sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi.

$$MQ = S/F$$

Keterangan:

MQ = *Marshall Quetient*

S = Nilai stabilitas terkoreksi (kg)

F = Nilai *flow* (mm)

4. Rongga Antar Agregat / *Void in Minerale Aggregate* (VMA)

Rongga antar agregat (VMA) merupakan ruang rongga yang berada diantara partikel

agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh dengan kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas, dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat dari campuran total, maka VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$VMA = (100 - \frac{GMB \times PS}{GSB})100\%$$

Keterangan:

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

Gsb = Berat jenis curah agregat

Ps = Agregat, persen berat total campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

5. Rongga Udara di dalam Campuran / *Void In Mix* (VIM)

VIM merupakan rongga pada campuran aspal beton yang masih tersisa setelah dipadatkan. VIM dibutuhkan karena sebagai tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat aspal jika meleleh menjadi lunak akibat naiknya suhu udara. VIM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak. Sehingga mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat yang menyebabkan air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$VIM = (100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}) \times 100\%$$

Keterangan:

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

6. Rongga Terisi Aspal / *Void Filled with Asphalt* (VFA)

Void Filled With Asphalt (VFA) adalah persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Faktor pemadatan yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal mempengaruhi nilai VFA. Nilai VFA berpengaruh pada sifat campuran yang kedap terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai VFA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi, tetapi nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan bleeding. Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. nilai VMA dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{VFA (\%)} = \left(\frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

VFA = Volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume

2.6 Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE)

Plastik berdensitas rendah polietilen (LDPE) adalah jenis plastik yang dapat diproses melalui proses pemanasan dan pendinginan. Minyak bumi telah diproduksi sejak tahun 1933 untuk membuat plastik ini. Karena sifatnya yang tipis, lentur, jernih, dan ringan, sangat mudah untuk membuat berbagai jenis material atau produk. Salah satu jenis polimer yang paling awal digunakan dalam industri adalah LDPE.

Kantongan plastik, juga dikenal sebagai LDPE, biasanya banyak dilihat dari limbah rumah tangga hingga tempat perbelanjaan seperti toko, swalayan, dan pasar. Mereka kemudian diangkut ke tempat pembuangan sementara dan akhirnya dibuang ke tempat pembuangan akhir. Hal ini mudah dicapai dengan menggunakan kantong plastik, yang sebenarnya masih diperlukan untuk pengemasan barang-barang lainnya.

Low Density Polyethylene (LDPE) adalah polietilena dengan tingkat densitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan HDPE. Polietilena terbentuk dari proses

polimerisasi atas etilena yang menghasilkan rantai *hidrokarbon monomer* yang panjang melintas lurus. Lewat penyesuaian saat proses polimerisasi, rantai *hidrokarbon monomer* tersebut dibuat menjadi bercabang. Tingkat percabangan rantai tersebutlah yang menentukan tipe polietilina yang dihasilkan. LDPE memiliki tingkat percabangan yang tinggi, yang berarti memiliki struktur molekuler yang renggang sehingga menghasilkan sifat plastik yang rendah densitas dan fleksibel.

LDPE adalah polimer semi-kristal dengan spherulit, area yang diisi dengan kristalin, yang memiliki bentuk dan luas yang beragam. Rantai molekul polimernya padat dan terdiri dari $\text{CH}_2\text{-CH}_2$. Karakter polimer dipengaruhi oleh tingkat kristalinitasnya. Polimer memiliki area *amorf* yang lebih luas dari area kristalinnya karena strukturnya yang penuh cabang. Karena sifat-sifat ini, LDPE tidak memiliki densitas yang tinggi.

Plastik LDPE dapat meregang tanpa rusak karena tingkat percabangannya yang tinggi dan ikatan molekularnya yang renggang. Akibatnya, LDPE sering digunakan dalam pembuatan *film* dan kantong plastik.



Gambar 2.2 Plastik LDPE

2.7 *Cantabro Test*

Uji *Cantabro* dilakukan untuk mengetahui kehilangan berat benda uji setelah pengujian abrasi dengan mesin *Los Angeles*. Nilai keausan atau abrasi campuran dihitung berdasarkan kehilangan berat benda uji. Nilai keausan menunjukkan bahwa campuran tahan terhadap abrasi. Berikut adalah proses pengujian *Cantabro* :

1. Sebelum dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles*, benda uji ditimbang terlebih dahulu dan dicatat sebagai M0.
2. Setelah itu, benda uji dimasukkan dan mesin dijalankan sebanyak 300 kali dengan kecepatan 30-33 rpm tanpa bola-bola baja.
3. Setelah selesai, benda uji ditimbang lagi dan dicatat sebagai M1. Ketahanan campuran yang lebih tinggi ditunjukkan oleh persentase nilai keausan yang lebih rendah. Berdasarkan ASTM-D7064, batas maksimum keausan adalah 20%.

$$\text{Nilai Keausan} = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100 \%$$

Keterangan :

M0 = Berat sample sebelum uji

M1 = Berat sample setelah uji



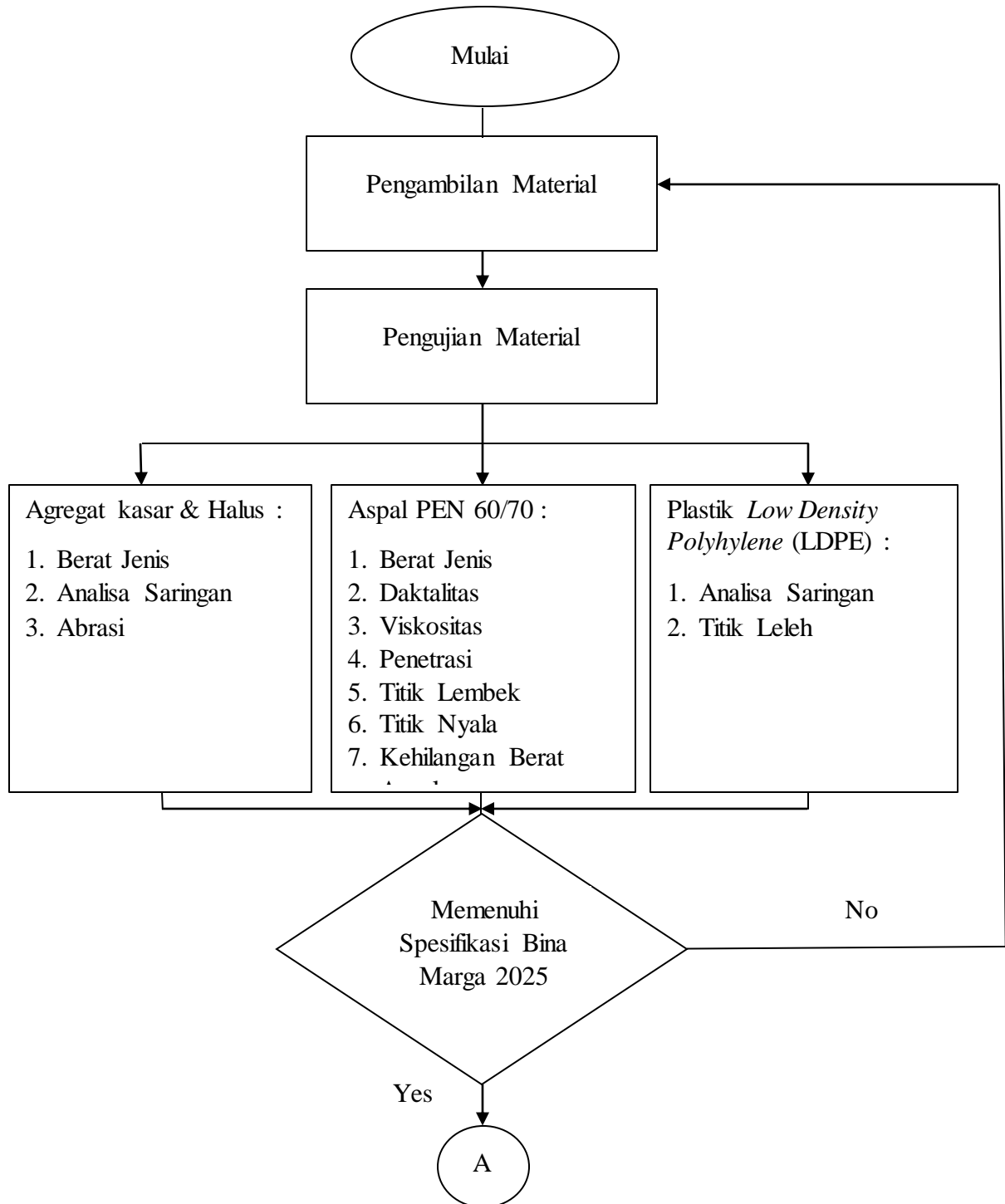
Gambar 2.3 Alat *Los Angeles* untuk pengujian *Cantabro*

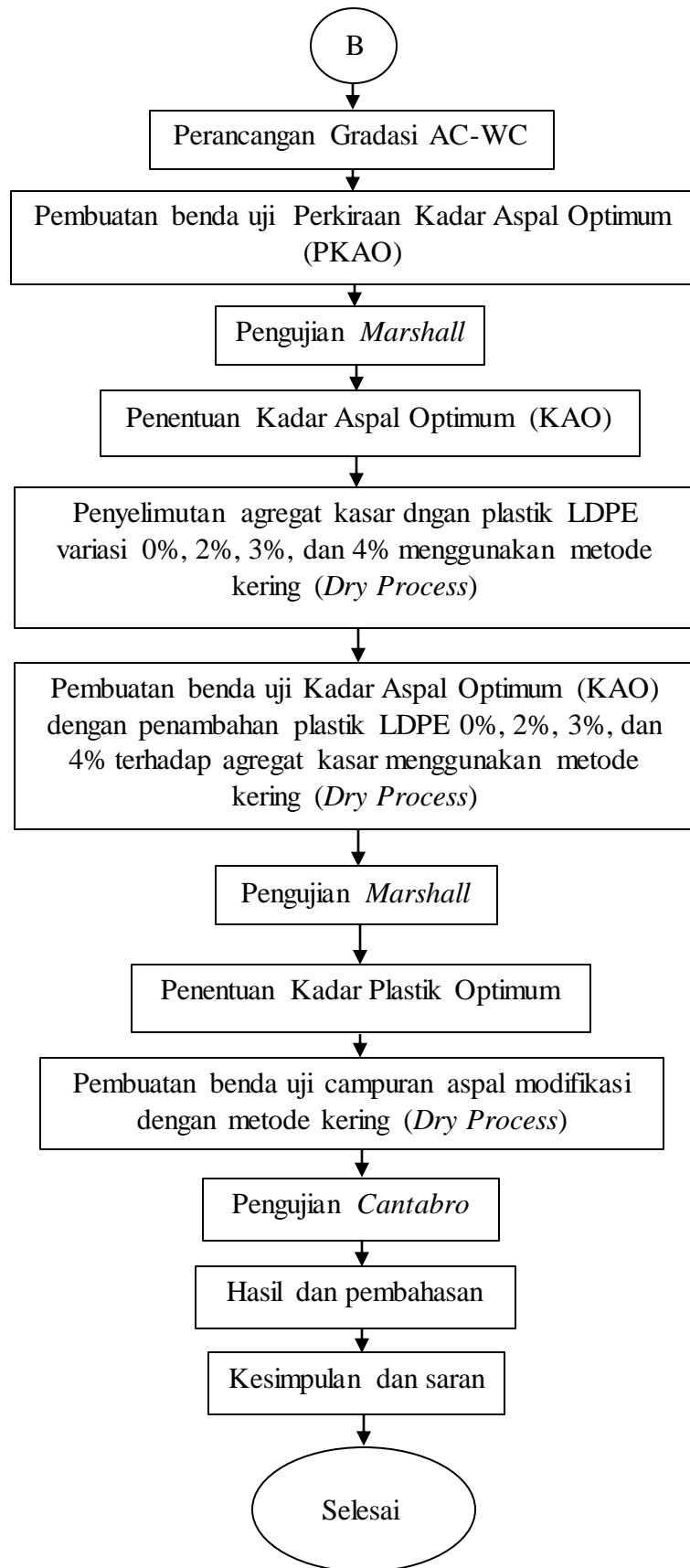
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Penelitian

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





Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.2 Pengambilan Material

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

3.2.1 Lokasi Pengambilan Material

1. Lokasi pengambilan agregat

Agregat yang digunakan dalam melakukan pengujian adalah agregat kasar, agregat halus dan abu batu yang berasal dari PT. Hasal Logam Utama yang berlokasi di Jl. Watusampu Kecamatan Ulujadi Kota Palu.



Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Agregat Kasar, Agregat Halus dan Abu Batu di PT. Hasal Logam Utama

Titik Koordinat : $0^{\circ}49'15''\text{S}$ $119^{\circ}48'26''\text{E}$

Sumber : *Google Earth, 2025*

2. Lokasi pengambilan aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang di distribusikan oleh PT. Agro Yasa Mandiri yang berlokasi di Jl. Diponegoro Kecamatan Palu Barat Kota Palu.



Gambar 3.3 Lokasi Pengambilan Material Aspal Pertamina PEN 60\70 di PT. Agro Yasa Mandiri

Titik Koordinat : $0^{\circ}53'20''\text{S}$ $119^{\circ}51'03''\text{E}$

Sumber : *Google Earth, 2025*

3. Lokasi pengambilan plastik LDPE

Plastik yang digunakan dalam penelitian ini adalah plastik dengan jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) yang diambil di TPA kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu.



Gambar 3.4 Lokasi Pengambilan Plastik LDPE di TPA Kawatuna

Titik Koordinat : $0^{\circ}54'38''\text{S}$ $119^{\circ}56'10''\text{E}$

Sumber : *Google Earth*, 2025

3.2.2 Metode Pengambilan Material

1. Metode pengambilan agregat

Material didapatkan dari PT. Hasal Logam Utama. Material-material tersebut telah melalui proses pemecahan dengan menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*). Pengambilan material dilakukan pada titik *stockpile* yang berbeda yang memiliki ukuran butiran agregat yaitu batu pecah 3/4", 3/8", 1/2", serta abu batu yang dimana ukuran butiran tersebut dapat mewakili keseluruhan populasi sampel. Pengambilan material dilakukan menggunakan sekop kemudian dimasukan ke dalam karung. Setiap ukuran atau diameter fraksi agregat yang berbeda akan ditempatkan pada karung yang berbeda agar tidak tercampur.

2. Metode pengambilan aspal

Pengambilan contoh benda uji aspal harus dilakukan dengan hati-hati agar mendapatkan estimasi kondisi bahan yang mewakili sifat asli :

- a. Hal yang pertama dilakukan sebelum pengambilan sampel adalah memastikan sampel yang diambil dari dalam drum harus benar-benar tertutup rapat agar tidak ada benda lain yang tercampur ke dalamnya.
- b. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan alat sederhana yaitu besi yang berdiameter 12 mm, kemudian ditusukkan ke dalam drum dan

dicungkil sedikit demi sedikit lalu diangkat kepermukaan dan dipindahkan ke wadah atau kaleng yang berkapasitas 2-5 kg.

- c. Wadah untuk penampungan sampel harus bersih atau baru dan tidak boleh dilap menggunakan kain berminyak serta terbuat dari bahan kaleng yang bisa tahan terhadap panas. Jika wadah berminyak atau tidak kering, maka wadah sampel tidak dapat digunakan.

3. Metode pengambilan plastik LDPE

Dalam pengujian ini, penulis menggunakan plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) atau plastik polimer yang diambil dari tempat pembuangan akhir (TPA) Kawatuna dengan jenis plastik kantong kresek. Penggunaan plastik ini dikarenakan mudah didapatkan serta untuk keseragaman sampel.

3.3 Pengujian Material

3.3.1 Pengujian Beton Aspal

Jenis bahan aspal minyak yang digunakan dalam pengujian ini adalah jenis aspal keras dengan penetrasi aspal 60/70. Aspal penetrasi 60/70 adalah jenis aspal yang lebih umum digunakan terutama di daerah Sulawesi Tengah. Jenis pengujian yang dilakukan antara lain sebagai berikut :

1. Pengujian Penetrasi

Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Dilakukannya pengujian dengan cara memasukan jarum penetrasi berdiameter 1 mm dengan menggunakan beban seberat 50 gram sehingga beban gerak diperoleh sebesar (berat jarum + beban) selama 5 detik pada temperatur suhu 25°C. Nilai penetrasi besarnya diukur dan dinyatakan dalam angka yang merupakan kelipatan 0,1 mm. Nilai penetrasi sangat sensitif terhadap suhu sehingga pengukuran di atas suhu ruangan akan menghasilkan nilai yang berbeda.

2. Kehilangan Berat Minyak

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menetapkan penurunan berat minyak aspal dengan cara pemanasan yang dinyatakan dalam persen berat semula.

Penurunan atau kehilangan berat dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Penurunan Berat (\%)} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\%$$

Dimana :

A = berat aspal sebelum pengujian

B = berat aspal setelah pengujian

3. Viskositas

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan viskositas atau kekentalan dari aspal keras dengan menggunakan alat *saybolt* ataupun aspal cair menggunakan alat engler. Pemeriksaan viskositas dinyatakan oleh waktu menetes (dalam detik) yang diperlukan oleh 120 ml benda uji untuk melalui suatu lubang yang telah dikalibrasi dan di ukur di bawah kondisi tertentu.

Menghitung viskositas dengan persamaan berikut :

$$SUS = t \times F_u$$

Dimana :

SUS = kekentalan *Saybolt Universal* yangtelah dikoreksi dalam detik

t = waktu alir contoh dalam detik

Fu = faktor koreksi untuk viskositas *Saybold Universal*

4. Peungujian Daktalitas

Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa kekuatan tarik aspal dengan cara mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus, pada suhu 25°C dengan kecepatan tarik 5 cm/menit. Pengujian juga dilakukan untuk menguji seberapa besar aspal dapat menahan kekuatan tarik yakni dalam kemampuannya untuk memenuhi syarat jarak tertentu (100 cm) tanpa putus. Dan ketika aspal melewati jarak 100 cm tanpa putus, maka aspal dianggap mempunyai kemampuan untuk menahan kekuatan tarik yang tinggi.

5. Pengujian Titik Lembek

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pada suhu berapa aspal mencapai titik lembek. Titik lembek merupakan suhu dimana lapisan aspal yang ada di dalam cincin diletakkan secara horizontal di atas larutan air atau gliserin yang kemudian dipanaskan secara teratur sehingga menjadi lembek karena beban bola baja dengan diameter 9,53 mm seberat $\pm 3,5$ gram yang diletakan di atasnya sehingga lapisan aspal tersebut jatuh melalui jarak 25,4 mm (1 *inchi*). Manfaat pemeriksaan titik lembek dan penetrasi salah satunya adalah untuk menentukan nilai besarnya PI (*Penetration Index*) yang merupakan tingkat parameter kepekaan aspal terhadap temperatur. Nilai PI dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$PI = \frac{(20 - 500A)}{(1 + 50A)}$$

$$A = \frac{\text{Log } 800 - \text{Log Penetrasi}}{\text{Titik lembek} - 25}$$

Syarat : $0,0015 \leq A \leq 0,006$ – $3 \leq PI \leq + 7$

6. Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis aspal dengan piknometer. Berat jenis aspal merupakan perbandingan dengan isi yang sama antara berat aspal dengan berat air suling pada suhu tertentu. Berat jenis aspal diperlukan untuk perhitungan dalam analisa campuran. Berat isi aspal dapat di hitung dengan rumus:

$$\text{Berat Jenis} = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-A)}$$

Keterangan :

A = berat piknometer dengan penutup (gr)

B = berat piknometer berisi air (gr)

C = berat piknometer bersisi aspal (gr)

D = Berat piknometer berisi aspal dan air suling (gr)

7. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian titik nyala dan titik bakar bertujuan untuk menentukan pada suhu berapa aspal akan terlihat menyala singkat (titik nyala). Titik nyala terlihat sekurang-kurangnya 5 detik. Titik nyala dan titik bakar perlu diketahui agar dapat memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar.

3.3.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan berdasarkan metode pemeriksaan yang dikeluarkan oleh Kementrian Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga dan juga menggunakan metode pemeriksaan SNI (Standar Nasional Indonesia).

1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Agregat Halus

Berat jenis adalah perbandingan dengan isi yang sama antara berat jenis agregat dan berat air suling pada suhu 25°C. Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan berat jenis curah (*bulk*), berat jenis permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan penyerapan agregat kasar dan halus.

- a. Berat jenis curah (*bulk*) adalah perbandingan antara agregat dan air suling yang isinya sama dengan berat agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

$$\text{Berat jenis curah (Bulk Spesifik)} = \frac{BK}{B_1 - B}$$

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

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

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

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

- d. Penyerapan (*Absorption*) adalah persentase berat air yang dapat diserap oleh pori terhadap berat agregat kering.

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

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gr)

Bj = Berat benda uji kering permukaan (gr)

Ba = Berat benda uji kering di dalam air (gr)

2. Analisa Saringan

Analisa saringan agregat ialah penentuan berat butiran agregat yang lolos dari satu saringan kemudian angka-angka presentasi digambarkan pada grafik pembagian butir. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji
- Satu set saringan: 37,5 mm (3"); 63,5 mm (2 ½"); 50,8 mm (2"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); No.4 (4,75 mm); No.8 (2,36 mm); No.16 (1,18 mm); No.30 (0,600 mm); No.50 (0,300 mm); No.100 (0,150 mm); No.200 (0,075 mm)
- Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110-5)°C
- Alat pemisah contoh
- Mesin pengguncang saringan
- Talam-talam
- Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat-alat lainnya.

Besar presentase tertahan dan lolos pada tiap saringan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

3. Abrasi

Abrasi bertujuan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gesekan atau keausan akibat kontak dengan benda lain. Salah satu metode yang paling umum digunakan adalah uji abrasi *Los Angles* (*Los Angles Abrasion Test*).

Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Mesin abrasi *Los Angles*
- b. Bola baja (*Grinding charge*)
- c. Saringan standar
- d. Timbangan
- e. Oven
- f. Wadah sampel (cawan)
- g. Agregat kasar yang telah dikeringkan dalam oven pada suhu 105-110° selama 24 jam

Hitung presentase kehilangan berat agregat menggunakan rumus :

$$\text{Abrasi (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Keterangan :

W1 = Berat awal agregat (gr)

W2 = Berat agregat yang tertahan di atas saringan no.12 setelah pengujian (gr)

3.3.3 Pengujian Material Aditif

Pengolahan plastik LDPE yang telah didapatkan dilakukan dengan cara menggunakan mesin penggiling atau penghancur limbah plastik. Langkah-langkah proses pengolahan sebagai berikut :

1. Agar memudahkan dalam proses penghancuran, terlebih dahulu plastik dipotong atau digunting dengan ukuran antara 1-2 cm.
2. Setelah plastik dipotong atau digunting, kemudian dituangkan ke dalam corong mesin penggiling. Agar proses penggilingan tidak mengalami kemacetan pada saat alat penghancur berputar sampel dituangkan sedikit demi sedikit.
3. Pada saat mesin penggiling melakukan proses penghancuran, perlu diperhatikan apakah potongan plastik di dalam corong sudah tergiling atau belum. Jika belum, maka potongan plastik diarahkan atau di dorong kebagian mata penghancur dengan alat bantu berupa sebatang kayu agar mempercepat proses penghancuran.

4. Setelah proses penghancuran selesai, dilakukan pembersihan alat agar pada saat alat digunakan kembali tidak mengalami kemacetan atau tidak berputar akibat masih ada potongan plastik yang melekat di mesin penggilingan.

Pengujian bahan tambah dari limbah plastik LDPE dengan mesin sederhana ini mampu menghasilkan sistem penghancur dengan waktu 15 menit untuk 50 gram limbah plastik. Dari hasil pengolahan dengan menggunakan mesin tersebut bisa menghasilkan butiran lolos ukuran saringan No. 4.

3.4 Perancangan Campuran (*Mix Design*) Beton Aspal

Tujuan perencanaan campuran adalah untuk memaksimalkan kualitas perkerasan campuran agregat dan aspal. Untuk memenuhi spesifikasi campuran beton aspal jenis *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), penelitian ini memilih bahan yang tepat.

Untuk memenuhi syarat gradasi, komposisi campuran antara agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi diidentifikasi. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan lapis permukaan di mana ikatan antar agregat saling mengunci. Metode *Marshall* adalah dasar untuk perencanaan campuran beton aspal lapis aus. Metode ini digunakan untuk menentukan jumlah aspal yang tepat yang diperkirakan untuk menghasilkan komposisi campuran yang baik dan sesuai dengan persyaratan teknis untuk perkerasan jalan antara agregat dan aspal. Metode ini dilakukan melalui percobaan, kemudian membandingkan hasilnya dengan gradasi yang diperlukan dan didasarkan pada presentase pemakaian

3.5 Tahapan Pembuatan Benda Uji

Tahapan pembuatan benda uji dilakukan dengan tahapan berikut:

3.5.1 Pembuatan Benda Uji Perkiraan Kadar Aspal Optimum (PKAO)

Pembuatan benda uji untuk menemukan kadar aspal optimum (KAO) dengan membuat sampel pengujian aspal konvensional dengan 5 variasi kadar aspal, yaitu kadar aspal Pb-1,5%, Pb-1,0%, Pb-0,5%, Pb% dan Pb+0,5%. Komposisi agregat yang digunakan adalah gradasi pilihan dengan metode *by sieve*. Gradasi pilihan diperoleh dari nilai tengah amplop gradasi gabungan Spesifikasi Umum Bina Marga 2025. Setiap variasi kadar aspal menggunakan 3 buah benda uji, sehingga dibutuhkan 15 buah benda uji.

Persamaan untuk mencari kadar aspal optimum rencana (Pb) sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + k$$

Keterangan :

Pb = Kadar aspal ideal, persentase terhadap berat campuran

CA = Persen agregat tertahan tertahan saringan No.4

FA = Persen agregat lolos saringan No.4 dan tertahan saringan No.200

Filler = Persen agregat lolos saringan No.200 minimal 75%

k = Konstanta (0,5 – 1 untuk laston)

3.5.2 Pembuatan Benda Uji Kadar Aspal Optimum (KAO)

Membuat benda uji untuk menilai karakteristik *Marshall* dan volumetrik campuran berdasarkan kadar aspal yang diperoleh pada pengujian PKAO dibuat 3 benda uji untuk pengujian *Marshall* dan 3 benda uji untuk pengujian *Marshall* sisa, sehingga total 6 benda uji dibutuhkan.

3.5.3 Pembuatan Benda Uji Campuran Laston AC-WC dengan plastik LDPE

Pembuatan Benda uji campuran laston AC-WC dengan plastik LDPE dibuat dengan mencampur agregat dengan plastik LDPE. Pencampuran dilakukan dengan metode kering dengan melakukan penyelimutan plastik dengan agregat kasar dengan berbagai variasi menggunakan kadar aspal ideal (KAO). Persentase plastik yang digunakan adalah persentase dari berat agregat kasar. Untuk pengujian *Marshall* dan volumetrik campuran, 6 benda uji dibuat untuk setiap variasi penambahan plastik. Untuk pengujian *Cantabro*, 6 benda uji dibuat. Pemadatan standar dilakukan secara manual pada setiap benda uji dengan jumlah tumbukan 75 kali per sisi.



Gambar 3.5 Proses Pembuatan Benda Uji dengan Penambahan Plastik Metode Kering

3.5.4 Menentukan Jumlah Benda Uji

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan sesuai dengan rencana variasi pemanasan campuran sehingga jumlah benda uji dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 3.1 Jumlah benda uji penentuan kadar aspal optimum (PKAO)

No	Benda Uji	Penentuan Kadar Aspal Optimum (PKAO)					Jumlah
		Pb -1,5%	Pb -1,0%	Pb 0,5%	Pb %	Pb + 0,5%	
1	Aspal Konvensional	3	3	3	3	3	15
Total							15

Tabel 3. 2 Jumlah benda uji untuk pemeriksaan KAO dengan pengujian *Marshall*

No	Benda Uji	Marshall Test	Total
1	Kadar Aspal Optimum %	3	3

Tabel 3. 3 Jumlah benda uji untuk pemeriksaan campuran dengan variasi penambahan plastik dengan pengujian *Marshall*

No	Variasi LDPE (%)	Marshall Test	Total
1	0,0 % LDPE	3	12
2	2,0 % LDPE	3	
3	3,0 % LDPE	3	
4	4,0 % LDPE	3	

Tabel 3. 4 Jumlah benda uji untuk pemeriksaan kuat lekat butir agregat dengan pengujian *Cantabro*

No	Benda Uji	Cantabro Test	Total
1	Campuran Konvensional	3	6
2	Campuran Modifikasi Plastik LDPE	3	

3.6 Tahapan Pengujian Benda Uji

1. Benda uji yang telah dipadatkan dibiarkan dalam suhu ruang selama 24 jam
2. Menimbang benda uji sebelum dilakukan pengujian untuk memperoleh berat awal W_1
3. Masukkan satu benda uji (*single specimen*) ke dalam drum mesin *Los Angeles Abrasion* tanpa bola baja, sesuai ketentuan ASTM D7064 Appendix X1

4. Menjalankan mesin *Los Angeles* dengan kecepatan 30-33 rpm sebanyak 300 putaran tanpa bola baja
5. Setelah selesai, keluarkan benda uji dan bersihkan dari butiran halus yang lepas
6. Timbang kembali benda uji untuk memperoleh berat akhir W_2
7. Hitung presentase kehilangan berat (*Cantabro Loss*) menggunakan persamaan :

$$\text{Cantabro Loss (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \%$$

Pengujian *Cantabro test* dilakukan pada benda uji kering untuk menilai tingkat keausan akibat abrasi, menurut ASTM D7064 / D7064M (khususnya pada *Appendix XI – Recommended Tests for WMA Mixtures*) (*OGFC*) dijelaskan bahwa benda uji *Cantabro* dimasukkan satu per satu (*individual testing*) ke dalam mesin *Los Angeles Abrasion Machine* tanpa bola baja (*steel charge*). Fokus utama pada penelitian ini adalah untuk menganalisis efek modifikasi LDPE terhadap kehilangan butir agregat akibat gesekan mekanis.

3.7 Tahapan Pengolahan Data

Seluruh data yang diperoleh dari pemeriksaan material dan pengujian benda uji kemudian diolah dengan menggunakan program Microsoft Excel dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

3.8 Tahapan Analisis Data

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap hasil pengolahan data meliputi:

1. Analisis mengenai variasi pada penambahan plastik LDPE yang memenuhi persyaratan aspal modifikasi AC-WC sesuai spesifikasi umum bina marga Tahun 2025.
2. Analisis mengenai pengaruh penambahan plastik LDPE terkait dengan pelepasan butir akibat *Cantabro test*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemeriksaan Uji Mutu Agregat

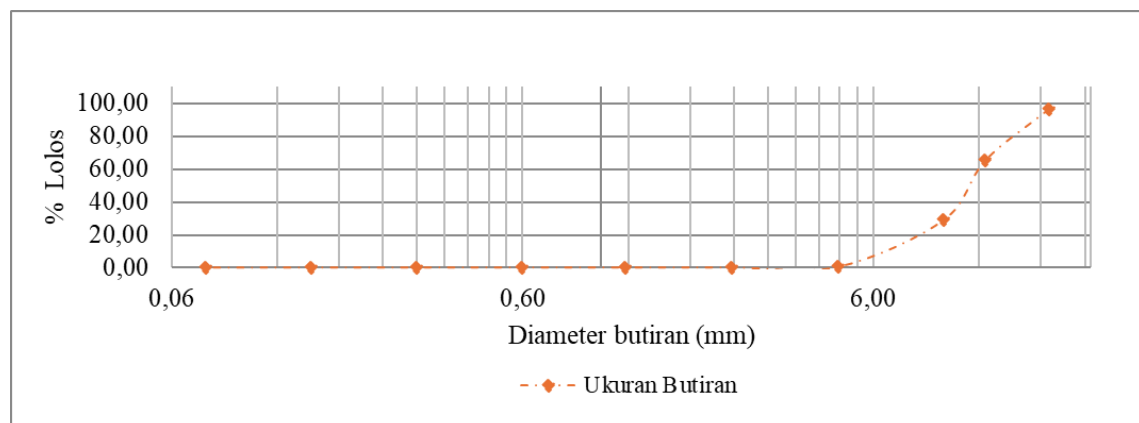
Pengujian mutu komponen agregat dilakukan untuk mengidentifikasi komponen penyusun utama campuran, agregat kasar dan agregat halus. Ini dilakukan untuk mendapatkan hasil campuran yang memiliki mutu yang baik. Pengujian mutu agregat ini dilakukan di Laboratorium Trasportasi dan Jalan Raya, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Palu. Pengujian ini mencakup agregat halus dan agregat kasar yang diambil dari *stone crusher* PT. Hasal Logam Utama, Watusampu, Palu.

4.1.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan ini berdasarkan SNI ASTM C136-2012. Adapun Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan $\frac{3}{4}$

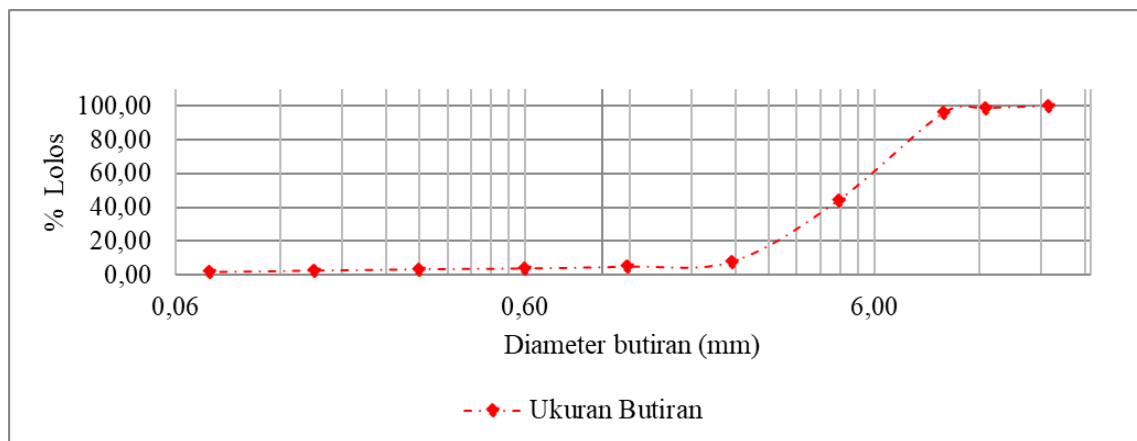
No. Saringan	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Kumulatif Tertahan (gr)	% Tertahan	% Lolos
3/4	19.00	96.80	96.80	3.23	96.77
1/2	12.50	935.30	1032.10	34.44	65.56
3/8	9.50	1091.10	2123.20	70.85	29.15
4	4.75	853.80	2977.00	99.34	0.66
8	2.36	8.40	2985.40	99.62	0.38
16	1.18	0.00	2985.40	99.62	0.38
30	0.60	0.00	2985.40	99.62	0.38
50	0.30	0.00	2985.40	99.62	0.38
100	0.15	2.00	2987.40	99.68	0.32
200	0.08	2.40	2989.80	99.76	0.24
PAN	-	7.10	2996.90	100.00	0.00



Gambar 4.1 Gradasi Fraksi $\frac{3}{4}$

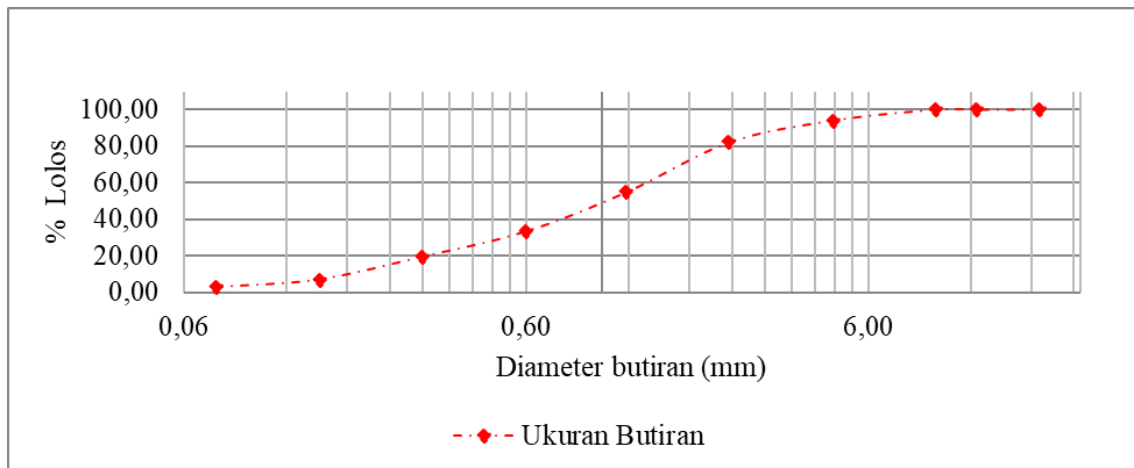
Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Fraksi $3/8$

No. Saringan	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Kumulatif Tertahan (gr)	% Tertahan	% Lolos
3/4	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	12.50	38.40	38.40	1.28	98.72
3/8	9.50	77.50	115.90	3.87	96.13
4	4.75	1550.90	1666.80	55.63	44.31
8	2.36	1085.90	2752.70	91.98	8.02
16	1.18	89.10	2841.80	94.95	5.05
30	0.60	32.40	2874.20	96.04	3.96
50	0.30	15.70	2889.90	96.56	3.44
100	0.15	23.50	2913.40	97.35	2.65
200	0.08	23.80	2937.20	98.14	1.86
PAN	-	55.60	2992.80	100.00	0.00

Gambar 4.2 Gradasi Fraksi $3/8$

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Abu Batu

No. Saringan	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Kumulatif Tertahan (gr)	% Tertahan	% Lolos
3/4	19.00	0.00	0.00	0.00	100
1/2	12.50	0.00	0.00	0.00	100
3/8	9.50	0.00	0.00	0.00	100
4	4.75	88.20	88.20	5.91	94.09
8	2.36	178.70	266.90	17.88	82.12
16	1.18	407.60	674.50	45.18	54.82
30	0.60	321.10	995.60	66.69	33.31
50	0.30	203.90	1199.50	80.35	19.65
100	0.15	186.20	1385.70	92.83	7.17
200	0.08	63.50	1449.20	97.08	2.92
PAN	-	43.60	1492.80	100	0.00



Gambar 4.3 Gradasi Abu Batu

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan, presentase lolos pada masing-masing ukuran saringan menunjukkan distribusi yang merata, di mana pada saringan terbesar (19mm) diperoleh nilai lolos 100%, sedangkan pada saringan terkecil (no.200) diperoleh nilai lolos $\pm 5\%$. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi agregat yang digunakan berada dalam rentang gradasi ideal, sehingga diharapkan mampu memberikan stabilitas dan *workability* yang baik pada campuran aspal AC-WC.

4.1.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Hasil pengujian ini mengacu pada SNI 1969:2016 untuk Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, dan SNI 1970:2016 untuk Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Hasil dari pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi 3/4

Pemeriksaan	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Berat jenis (<i>Bulk specific gravity</i>)	-	2.789	> 2.5	Memenuhi
Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>Saturated surface dry</i>)	-	2.812	> 2.5	Memenuhi
Berat jenis semu (<i>Apparent specific gravity</i>)	-	2.854	> 2.5	Memenuhi
Persentase penyerapan (<i>Absorption</i>)	%	0.817	< 2	Memenuhi
Berat jenis efektif	-	2,821	> 2.5	Memenuhi

Pengujian berat jenis ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat fraksi 3/4 mempengaruhi proporsi campuran dan kebutuhan aspal. Hasil pengujian menunjukkan berat jenis curah sebesar 2.789, berat jenis SSD sebesar 2.812, dan berat jenis semu sebesar 2.854, dengan penyerapan air sebesar 0.817%. Nilai ini masih memenuhi batas maksimal penyerapan agregat kasar sesuai spesifikasi, yang berarti agregat memiliki porositas rendah dan daya serap air yang wajar.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi 3/8

Pemeriksaan	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Berat jenis (<i>Bulk specific gravity</i>)	-	2.786	> 2.5	Memenuhi
Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>Saturated surface dry</i>)	-	2.817	> 2.5	Memenuhi
Berat jenis semu (<i>Apparent specific gravity</i>)	-	2.876	> 2.5	Memenuhi
Persentase penyerapan (<i>Absorption</i>)	%	1.121	< 2	Memenuhi
Berat jenis efektif	-	2.831	> 2.5	Memenuhi

Untuk fraksi 3/8, diperoleh berat jenis curah 2.786, berat jenis SSD 2.817, berat jenis semu 2.876, dan penyerapan 1.121%. Nilai-nilai ini mirip dengan fraksi 3/4 menunjukkan konsistensi kualitas agregat kasar yang digunakan. Penyerapan yang rendah menunjukkan bahwa aspal tidak akan banyak tererap ke pori agregat, sehingga efisiensi penggunaan aspal meningkat.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi Abu Batu

Pemeriksaan	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Berat jenis (<i>Bulk specific gravity</i>)	-	2.503	> 2.5	Memenuhi
Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>Saturated surface dry</i>)	-	2.564	> 2.5	Memenuhi
Berat jenis semu (<i>Apparent specific gravity</i>)	-	2.669	> 2.5	Memenuhi
Persentase penyerapan (<i>Absorption</i>)	%	0.990	< 2	Memenuhi
Berat jenis efektif	-	2.586	> 2.5	Memenuhi

Fraksi abu batu memiliki berat jenis curah 2.503, berat jenis SSD 2.564, berat jenis semu 2.669, dan penyerapan 0.990%. Nilai penyerapan yang rendah ini menunjukkan bahwa porositas agregat kecil sehingga baik untuk campuran beraspal.

4.1.3 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian lolos saringan No.200 agregat kasar dan agregat halus yang dilakukan berdasarkan SNI 03-41-42-1996. Adapun hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200

No	Jenis Material	Fraksi	Satuan	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Keterangan
1	Agregat Kasar	3/4	%	0,506	< 1%	Memenuhi
2		3/8	%	0,958		Memenuhi
3	Agregat Halus	Abu Batu	%	9,656	< 10%	Memenuhi

Hasil menunjukkan presentase material lolos saringan No.200 pada agregat kasar rata-rata sebesar 0,73%, masih dibawah batas maksimum 1% sesuai spesifikasi. Ini menandakan kadar partikel halus sangat kecil sehingga tidak berpotensi mengganggu kekuatan ikatan agregat-aspal.

4.1.4 Hasil Pengujian Abrasi

Pada agregat kasar dilakukan pengujian abrasi dengan menggunakan mesin Los Angeles yang diputar sebanyak 300 kali untuk mengetahui nilai keausan dengan menggunakan metode SNI 2417-2008. Adapun hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Abrasi

No	Fraksi	Pemeriksaan	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	3/4	Abrasi	%	19,83	< 30	Memenuhi
2	3/8			28,07		Memenuhi

Nilai abrasi untuk agregat fraksi 3/4 yaitu 19,83, dan fraksi 3/8 28,07, nilai ini masih jauh di bawah batas maksimum 30% sesuai spesifikasi bina marga 2025. Nilai ini menunjukan agregat memiliki ketahanan aus yang baik terhadap gesekan dan benturan.

4.2 Hasil Pemeriksaan Aspal

Pengujian standar material aspal dilakukan dengan satu tipe aspal yaitu aspal Pen 60/70, untuk material aspal yang digunakan yaitu aspal Pen 60/70 yang di distribusikan oleh PT. Agro Yasa Mandiri yang berlokasi di Jl. Diponegoro Kecamatan Palu Barat Kota Palu. Pemeriksaan aspal pada penelitian ini terdiri dari pengujian penetrasi, titik lembek, daktalitas, berat jenis dan viskositas. Hasil pengujian aspal disesuaikan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang dilakukan oleh Direktorat Jendral Bina Marga tahun 2025. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil Pemeriksaan Aspal Pen 60/70

No	Pemeriksaan	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Penetrasi pada 25°C	0.1 mm	66.80	60-70	Memenuhi
2	Titik Lembek	°C	49,75	≥ 48	Memenuhi
3	Daktalitas pada 25°C	cm	141.5	≥ 100	Memenuhi
4	Berat Jenis	-	1.087	≥ 1	Memenuhi
5	Viskositas	cSt	830.8	≥ 300	Memenuhi

Pengujian pada penetrasi berdasarkan SNI 2456:2011. Hasil pengujian menunjukkan nilai penetrasi sebesar 66.80, berada dalam rentang spesifikasi 60-70, yang menunjukkan tingkat kekerasan aspal berada pada posisi ideal, maka aspal dapat dinyatakan 60/70 dari karakteristik penetrasi.

Pengujian titik lembek berdasarkan metode SNI 2434:2011. Dari hasil pengujian didapatkan nilai titik lembek sebesar 49.75°C melebihi batas minimum 48°C, menandakan aspal memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi sebelum mulai melunak.

Pengujian daktilitas aspal berdasarkan metode SNI 2432:2011. Berdasarkan hasil pemeriksaan didapatkan nilai daktilitas 141.5 cm jauh di atas batas minimum 100 cm, menunjukkan aspal memiliki sifat kohesi dan adhesi yang sangat baik.

Pengujian berat jenis aspal berdasarkan SNI 2441:2011. Dari hasil pemeriksaan diperoleh berat jenis aspal sebesar 1.087 sesuai dengan ketentuan minimal ≥ 1 , yang menunjukkan kepadatan material pengikat baik dan sesuai untuk perhitungan campuran.

Pengujian viskositas aspal berdasarkan SNI 7729:2011. Nilai viskositas aspal menunjukkan nilai sebesar 830.8 cSt, yang berada jauh di atas persyaratan minimum spesifikasi, yaitu ≥ 300 cSt. Hal ini mengindikasikan bahwa aspal memiliki tingkat kekentalan yang memadai untuk menjamin proses pelapisan agregat secara optimal serta mendukung pembentukan ikatan yang kuat pada campuran beraspal panas.

4.3 Pemeriksaan Plastik LDPE

Pada penelitian ini, pemeriksaan fisik plastik LDPE terdiri dari pemeriksaan ukuran butiran lolos saringan sesuai dengan Standar Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik (Pd-09-2019-B) dan pengujian titik leleh plastik yang dapat dilihat pada tabel 4.10 dan 4.11

Tabel 4.10 Hasil Pecacahan Plastik LDPE

Sieve No	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Kumulatif Tertahan (gr)	% Lolos	Spesifikasi (%)	Keterangan
3/8"	9.50	0.00	0.00	100.00	Min. 90	Memenuhi
#4	4.75	0.00	0.00	100.00	Min. 90	Memenuhi
PAN	-	500.37	500.37	0.00	-	-

Pengolahan plastik LDPE menghasilkan butiran berukuran lolos saringan no.4, dengan ukuran rata-rata 1-2 cm sebelum penggilingan. Hal ini untuk memastikan plastik dapat menyelimuti agregat secara merata saat proses pencampuran metode kering.

Tabel 4.11 Titik Leleh Plastik

No	Suhu (°C)	Waktu (detik)	Keterangan
1	130	5'15.49''	
2	134.7	5'25.61''	Mengalami perubahan bentuk
3	140	5'57.26''	
4	150	6'27.92''	
5	155.8	7'21.18''	
6	160	8'35.76''	
7	170	11'21.88''	
8	180	14'04.19''	
9	190	17'38.71''	Perkiraan titik leleh > 200°C

Titik leleh plastik yang digunakan pada penelitian ini adalah 200°C. Nilai ini penting untuk memastikan plastik dapat melekat optimal pada agregat saat proses pencampuran.

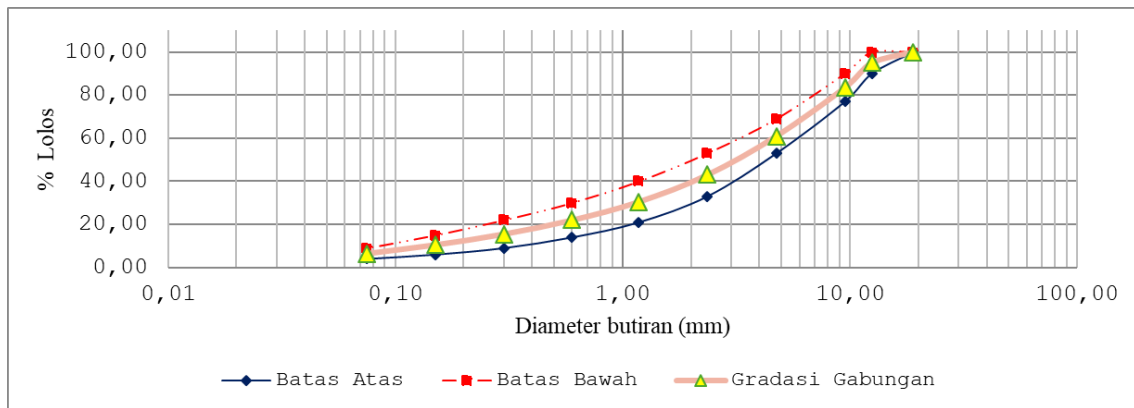
4.4 Gradasi Campuran

Penentuan gradasi campuran agregat pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *by sieve*, yaitu metode yang didasarkan pada hasil penimbangan agregat sesuai dengan ukuran saringan yang digunakan. Berbeda dengan metode *by portion* yang mengelompokkan agregat berdasarkan fraksi (agregat kasar, agregat halus, dan filler), metode *by sieve* menentukan proporsi agregat langsung berdasarkan distribusi gradasi tiap ukuran saringan.

Berat total agregat yang diperlukan untuk pembuatan benda uji yang berdiameter 10 cm dan tebal benda uji 6 cm adalah sebesar 1200 gram.

Tabel 4.12 Hasil Saringan Agregat Dengan Gradasi Ideal

No. Saringan	Bukaan (mm)	Spesifikasi Gradasi	% Lolos	% Tertahan	Berat Tertahan (gram)
¾"	19.00	100	100	0.00	0
½"	12.50	90 - 100	95.00	5.00	60
3/8"	9.50	77 - 90	84.00	11.00	138
No.4	4.75	53 - 69	61.00	22.50	270
No.8	2.36	33 - 53	43.00	18.00	216
No.16	1.18	21 - 40	31.00	12.50	150
No.30	0.60	14 - 30	22.00	8.50	102
No.50	0.30	9 - 22	16.00	6.50	78
No.100	0.15	6 - 15	11.00	5.00	60
No.200	0.08	4 - 9	7.00	4.00	48
PAN	-	-	0.00	6.50	78
Total					1200



Gambar 4.4 Analisa Saringan Gradasi Rencana

4.5 Pembuatan dan Uji Spesimen untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

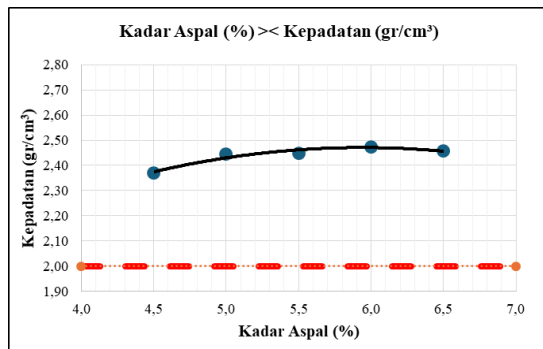
Untuk menetapkan kadar aspal optimum (KAO) dalam campuran, terlebih dahulu ditentukan nilai perkiraan kadar aspal (P_b) sebagai acuan dalam menentukan rentang kadar aspal yang akan digunakan, dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \\
 &= 0,035 (39) + 0,045 (54,50) + 0,18 (6,5) + 1,0 \\
 &= 5,99 \% \approx 6,0 \%
 \end{aligned}$$

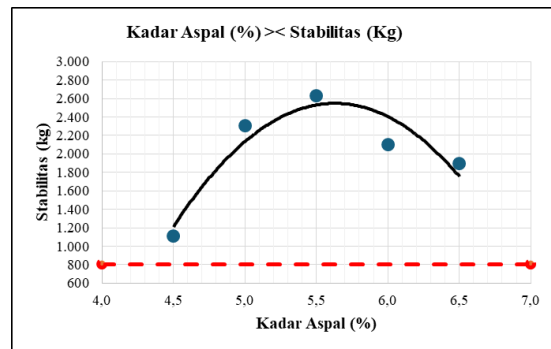
Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan dengan membuat tiga buah benda uji untuk setiap variasi kadar aspal, yaitu 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%, sehingga total terdapat 15 benda uji. Setiap benda uji dipadatkan secara manual menggunakan alat pemadat *Marshall Hammer*, kemudian diuji dengan alat *Marshall Test*. Hasil pengujian *Marshall* menghasilkan nilai karakteristik campuran AC-WC, yang disajikan pada tabel 4.13 serta grafik karakteristik dari hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.14

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Sifat-Sifat Campuran Benda Uji PKAO

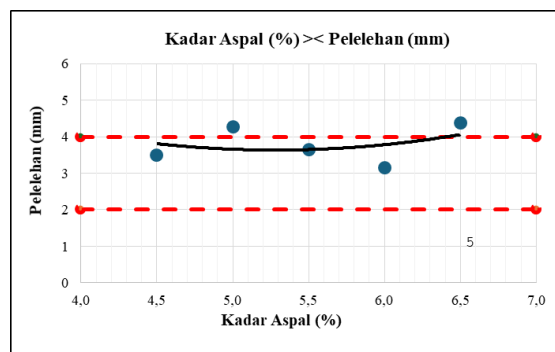
Sifat-sifat Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	
Kepadatan (gr/cc)	2.37	2.45	2.45	2.47	2.46	Min. 2
VMA (%)	17.56	15.32	15.66	15.31	16.25	Min. 15
VIM (%)	9.14	5.57	4.82	3.30	3.26	3 - 5
VFB (%)	47.94	63.68	69.67	78.67	80.11	Min. 65
Stabilitas (kg)	1,108.86	2,307.56	2,629.12	2,096.64	1,895.54	Min. 800
Pelelehan (mm)	3.49	4.28	3.65	3.15	4.37	2 - 4



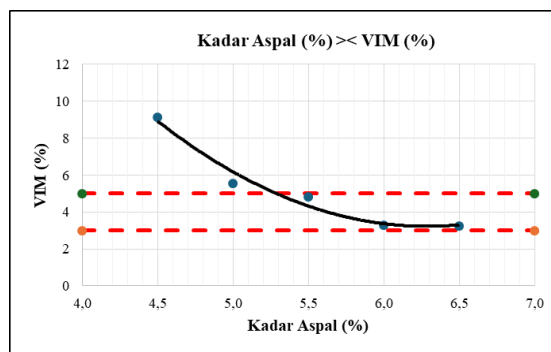
(a) Grafik Kepadatan



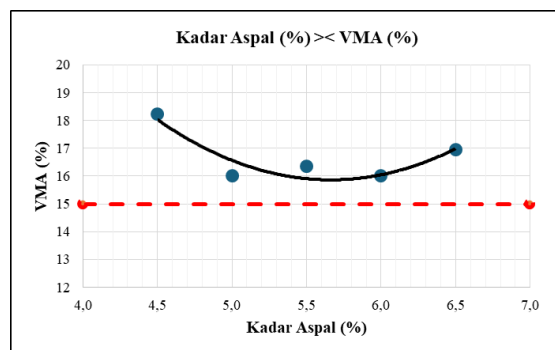
(b) Grafik Stabilitas



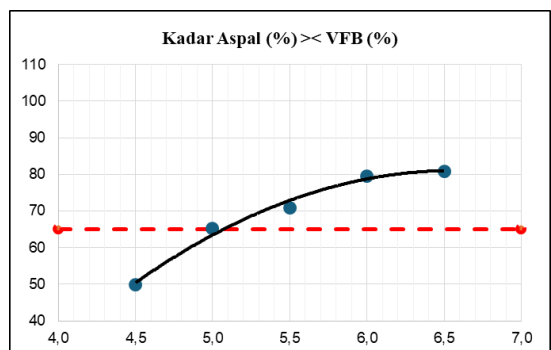
(c) Grafik Pelelehan



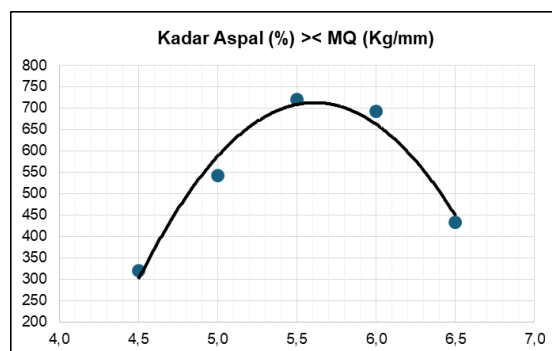
(d) Grafik VIM



(e) Grafik VMA

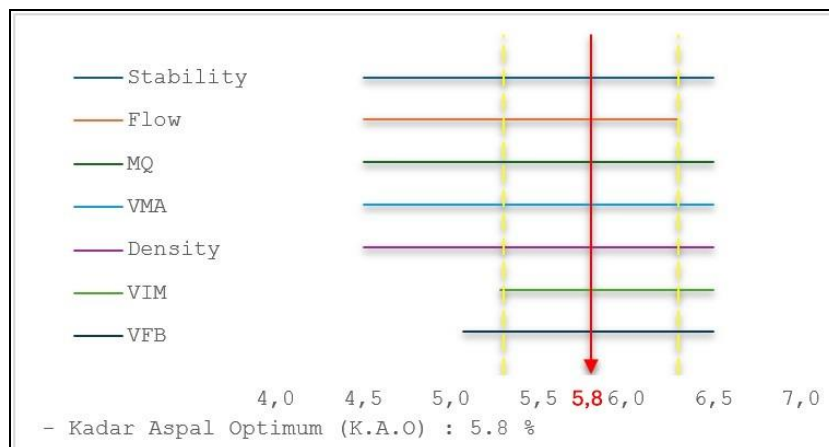


(f) Grafik VFB



(g) Grafik *Marshall Quotient*

Gambar 4.5 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall*



Gambar 4. 6 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik *Marshall*, nilai batas atas dan batas bawah untuk setiap sifat campuran ditentukan menggunakan persamaan regresi pada grafik polinomial. Seperti terlihat pada Gambar 4.6, diperoleh batas bawah sebesar 5,28% dan batas atas sebesar 6,31%, sehingga kadar aspal optimum yang digunakan ditetapkan sebesar 5,79%, dan dibulatkan menjadi 5,8% untuk campuran aspal AC-WC dalam penelitian ini. Setelah kadar aspal optimum ditentukan, dilakukan pengujian *Marshall* lanjutan untuk memastikan bahwa kadar tersebut memenuhi spesifikasi, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Sifat-Sifat Campuran Benda Uji KAO

Sifat-Sifat Campuran	Kode Benda Uji			Spesifikasi
	5.8% A	5.8% B	5.8% C	
Kepadatan (gr/cc)	2,454	2,464	2,470	Min. 2,0
Stabilitas (kg)	1.704	1.812	1.885	Min. 800
Pelelehan (mm)	3,73	3,01	3,26	2,0 – 4,0
VIM (%)	4,24	3,88	3,63	3,0 – 5,0
VMA (%)	16,43	16,11	15,90	Min. 15
VFB (%)	74,18	75,93	77,15	Min. 65
Stabilitas Sisa (%)		91		Min. 90

Hasil pengujian *Marshall* pada kadar aspal optimum 5,8 menunjukkan bahwa nilai kepadatan (*density*) benda uji berkisar 2,454-2,470 gr/cc, yang seluruhnya telah memenuhi spesifikasi minimum sebesar 2,0 gr/cc.

Nilai stabilitas campuran berada pada rentang 1.704-1.885 kg, jauh di atas persyaratan minimum 800 kg, yang mengindikasikan bahwa campuran memiliki daya dukung beban yang sangat baik.

Nilai pelelehan (*flow*) diperoleh antara 3,01-3,73 mm, masih berada dalam batas spesifikasi 2,0-4,0 mm, sehingga campuran memiliki tingkat deformasi plastis yang sesuai standar.

Presentase rongga dalam campuran (VIM) berkisar antara 3.63-4.24%, yang masih memenuhi rentang persyaratan 3,0-5,0%.

Nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) tercatat 15,90-16,43%, lebih tinggi dari batas minimum 15% menandakan ketersediaan ruang yang cukup bagi aspal untuk melapisi agregat.

Presentase rongga yang terisi aspal (VFB) berada pada kisaran 74,18-77,15%, memenuhi persyaratan minimum 65%, sehingga campuran menunjukkan tingkat pengisi rongga yang optimal.

Sementara itu, nilai stabilitas sisa mencapai 91%, sedikit di atas persyaratan minimum 90%, yang mengindikasikan ketahanan campuran terhadap pengaruh air masih tergolong baik.

Secara keseluruhan, seluruh parameter hasil pengujian *Marshall* pada kadar aspal 5,8% telah memenuhi spesifikasi yang berlaku, sehingga campuran dapat dikategorikan layak untuk digunakan.

4.6 Perhitungan dan Penentuan Kadar Plastik yang Paling Efektif

4.6.1 Perhitungan Variasi Kadar Plastik

Variasi kadar plastik yang digunakan adalah 2%, 3%, dan 4% dari berat total agregat kasar (yang tertahan pada saringan No.4). Proses penyelimutan hanya dilakukan pada agregat kasar untuk mencegah terbentuknya gumpalan saat pencampuran. Berikut merupakan perhitungan proporsi campuran aspal dengan penambahan plastik LDPE sebagai bahan aditif :

Rumus :

Berat Plastik = % Kadar Plastik x Berat Agregat Kasar

1. Kadar Plastik LDPE 2%

$$\begin{aligned}\text{Berat Plastik} &= 2\% \times 468 \text{ gr} \\ &= 9,36 \text{ gr}\end{aligned}$$

2. Kadar Plastik LDPE 3%

$$\begin{aligned}\text{Berat Plastik} &= 3\% \times 468 \text{ gr} \\ &= 14,04 \text{ gr}\end{aligned}$$

3. Kadar Plastik LDPE 4%

$$\text{Berat Plastik} = 4\% \times 468 \text{ gr}$$

$$= 18,72 \text{ gr}$$

Pembuatan campuran AC-WC modifikasi dilakukan dengan metode kering, yaitu dengan menyelimuti (*coating*) agregat panas menggunakan plastik cacahan. Proses penyelimutan dilakukan pada suhu di atas 200°C, sesuai dengan titik leleh plastik. Berikut ini merupakan tahapan proses penyelimutan antara plastik dan agregat :

1. Penyiapan Bahan

Agregat yang digunakan dalam penyelimutan (*coating*) hanya agregat kasar, ini dilakukan untuk menghindari penggumpalan antara agregat halus dengan plastik cacahan.

2. Pemansan Agregat

Agregat kasar terlebih dahulu dipanaskan hingga mencapai suhu titik leleh plastik yaitu > 200°C.

3. Penyelimutan (*Coating*)

Pada proses ini agregat yang telah panas diberikan plastik sedikit demi sedikit dan terus di aduk hingga plastik terselimuti secara merata pada seluruh permukaan agregat kasar.

4. Hasil Penyelimutan

Berikut ini adalah bentuk visual hasil penyelimutan agregat kasar terhadap plastik LDPE dengan variasi kadar plastik LDPE 2%, 3%, 4% :



Gambar 4.7 Hasil penyelimutan agregat kasar dengan plastik LDPE 2%



Gambar 4.8 Hasil penyalimutan agregat kasar dengan plastik LDPE 3%



Gambar 4.9 Hasil penyalimutan agregat kasar dengan plastik LDPE 4%

Secara visual, semakin tinggi kadar plastik yang digunakan, maka agregat kasar terlihat semakin tertutup secara menyeluruh. Pada penambahan limbah plastik LDPE sebanyak 4%, hampir seluruh permukaan agregat kasar tampak tertutupi. Namun, selama proses pelapisan agregat dengan plastik, tidak semua plastik yang ditaburkan menempel pada permukaan agregat sebagian menempel pada wajan dan spatula. Oleh karena itu, perlu dilakukan penimbangan ulang terhadap berat agregat kasar setelah pelapisan untuk mengetahui jumlah plastik yang benar-benar melekat pada agregat, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Efektivitas Penyelimutan Agregat Kasar terhadap Plastik LDPE

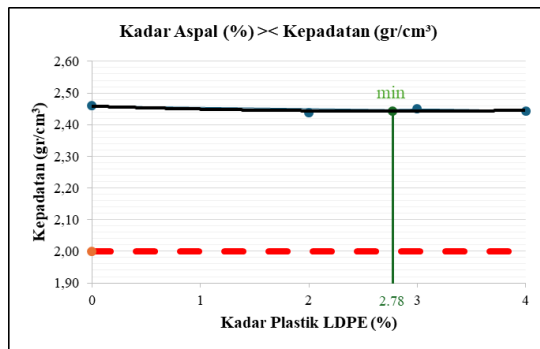
No.	Kadar Plastik (gr)	Berat Agregat (gr)	Berat Agregat Tercoating Plastik LDPE (gr)	Berat Plastik Tercoating Pada Agregat (gr)
1	2%	9,36	468	476.80
2		9,36	468	477.20
3		9,36	468	477.07
4	3%	14,04	468	481.30
5		14,04	468	481.10
6		14,04	468	480.50
7	4%	18,72	468	484.40
8		18,72	468	485.10
9		18,72	468	483.20

4.6.2 Penentuan Kadar Plastik Optimum

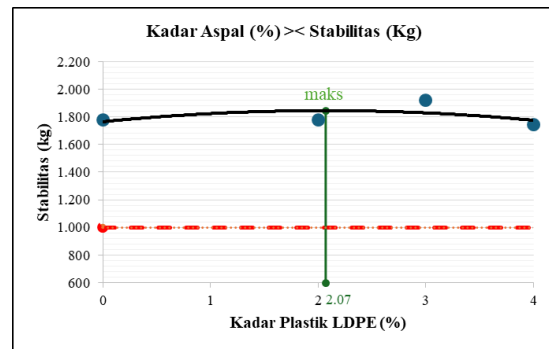
Penentuan kadar plastik optimum dilakukan berdasarkan nilai stabilitas tertinggi dari berbagai variasi persentase penambahan limbah plastik LDPE ke dalam campuran, mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2025. Prosedur penentuan dilakukan dengan metode regresi polinomial untuk memperoleh kadar plastik yang menghasilkan nilai stabilitas maksimum. Hasil pengujian terhadap sifat-sifat campuran aspal yang dimodifikasi dengan penambahan plastik LDPE sebesar 0%, 2%, 3%, dan 4% disajikan pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.10.

Tabel 4.16 Sifat-Sifat Campuran dengan Penambahan Plastik LDPE

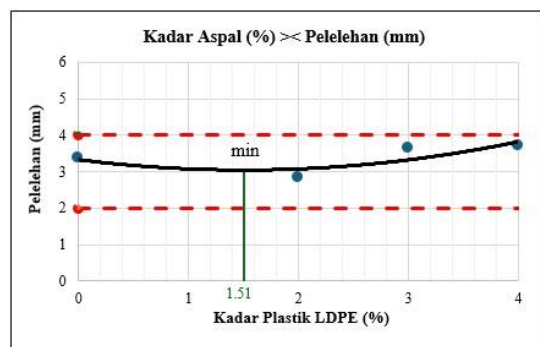
Sifat-sifat Campuran	Kadar Plastik (%)				Spesifikasi
	0,00	2,00	3,00	4,00	
Kepadatan (gr/cc)	2,45	2,43	2,44	2,44	Min. 2
VMA (%)	16,27	16,96	16,60	16,83	Min. 15
VIM (%)	4,06	4,85	4,44	4,70	3 - 5
VFB (%)	75,06	71,39	73,27	72,10	Min.65
Stabilitas (kg)	1.177	1.777	1.919	1.741	Min. 1000
Pelelehan (mm)	3,37	2,83	3,66	3.70	2 - 4



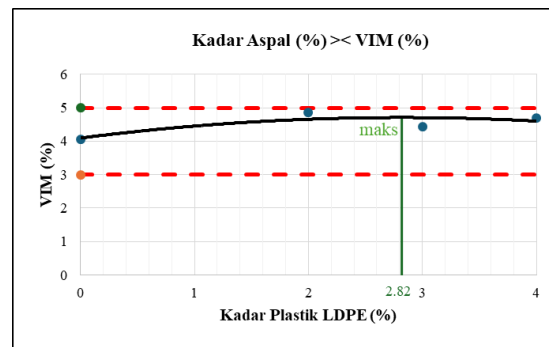
(a) Grafik Kepadatan



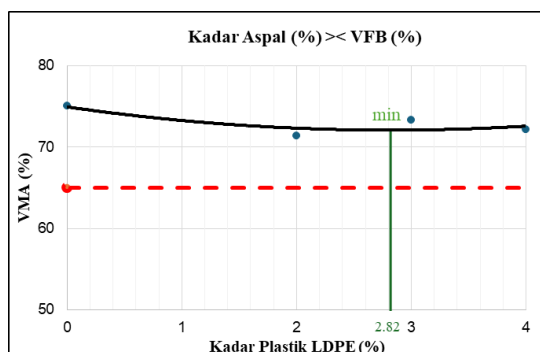
(b) Grafik Stabilitas



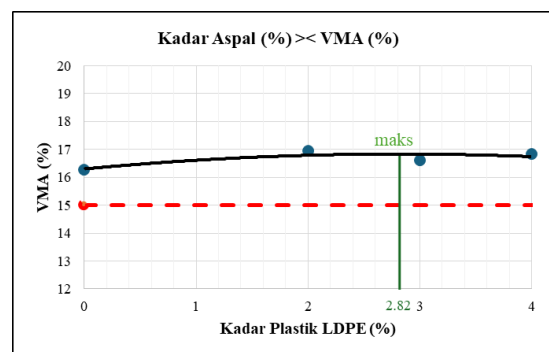
(c) Grafik Pelelehan



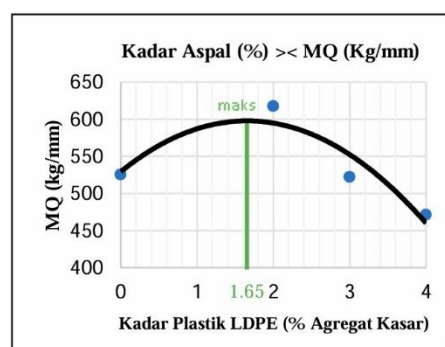
(d) Grafik VIM



(e) Grafik VFB



(f) Grafik VMA



(g) Grafik MQ

Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall*

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, diperoleh karakteristik campuran AC-WC modifikasi dengan penambahan limbah plastik LDPE sebesar 0%, 2%, 3%, dan 4%. Seluruh variasi kadar plastik yang digunakan masih memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2025. Hubungan antara sifat-sifat campuran dan variasi kadar plastik dianalisis menggunakan metode regresi. Kurva regresi yang berbentuk non-linier terbuka ke atas menunjukkan bahwa tidak terdapat nilai maksimum, melainkan hanya nilai minimum. Sebaliknya, kurva regresi non-linier yang terbuka ke bawah menunjukkan adanya nilai maksimum tanpa nilai minimum.

Nilai kepadatan campuran tidak menunjukkan perubahan yang signifikan seiring dengan variasi persentase penambahan limbah plastik LDPE, sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan plastik tidak berpengaruh secara nyata terhadap kepadatan campuran. Sementara itu, nilai stabilitas meningkat hingga penambahan plastik sebesar 3%, kemudian mengalami penurunan pada kadar 4%. Untuk menentukan kadar plastik yang menghasilkan nilai stabilitas maksimum, digunakan analisis regresi berdasarkan tren grafik stabilitas. Hasil regresi menunjukkan bahwa nilai maksimum stabilitas dicapai pada kadar plastik sebesar 2,07%.

Nilai *flow* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya persentase penambahan limbah plastik LDPE. Campuran dengan nilai *flow* yang melebihi batas spesifikasi cenderung menjadi lebih plastis atau lunak, yang dapat menurunkan ketahanannya terhadap *deformasi* permanen akibat beban lalu lintas, sehingga lebih rentan terhadap kerusakan. Sebaliknya, nilai *flow* yang berada di bawah batas spesifikasi menunjukkan karakteristik campuran yang getas atau kaku, yang dapat menyebabkan timbulnya retak pada permukaan perkerasan.

Pada variasi penambahan limbah plastik LDPE, nilai VIM (*Void in Mix*) masih berada dalam rentang yang ditetapkan oleh spesifikasi. Nilai VIM yang memenuhi spesifikasi menunjukkan bahwa rongga dalam campuran masih cukup untuk mengakomodasi perubahan suhu dan kondisi lingkungan. Penambahan limbah plastik juga berkontribusi dalam menutup sebagian rongga campuran, sebagaimana ditunjukkan oleh tren peningkatan nilai VIM pada penambahan 2% dan 4% plastik LDPE, serta penurunan pada penambahan 3%. Untuk menentukan persentase penambahan plastik yang menghasilkan nilai VIM *optimum*, digunakan analisis regresi, yang menghasilkan nilai *optimum* sebesar 2,82%.

Nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) berfungsi untuk menjaga ketahanan campuran dengan memberikan tingkat keawetan yang memadai. Seiring dengan meningkatnya persentase penambahan limbah plastik LDPE, nilai VFB juga menunjukkan kecenderungan meningkat. Berdasarkan tren grafik pada Gambar 4.7, nilai minimum VFB diperoleh pada persentase penambahan plastik sebesar 2,82%. Seluruh variasi penambahan limbah plastik LDPE dalam campuran masih memenuhi batas spesifikasi, yaitu lebih dari 65%. Nilai VFB yang sesuai dengan spesifikasi menandakan bahwa campuran berada dalam kondisi optimal. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik LDPE dapat mengurangi rongga dalam campuran, karena plastik berperan mengisi dan menutup ruang kosong tersebut.

Berbeda dengan nilai VFB, nilai VMA pada campuran mengalami peningkatan pada penambahan 2% dan 4% limbah plastik, namun menurun pada penambahan 3%. Berdasarkan tren pada Gambar 4.6, diperoleh kadar limbah plastik LDPE sebesar 2,82% yang menghasilkan nilai VMA maksimum. Nilai VMA yang masih memenuhi spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa campuran memiliki ruang kosong yang cukup untuk menampung aspal yang dibutuhkan.

Karena seluruh sifat campuran memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, maka penentuan kadar plastik optimum didasarkan pada nilai stabilitas maksimum yang diperoleh dari grafik hubungan antara kadar plastik (% terhadap berat agregat kasar) dan stabilitas (kg). Berdasarkan hasil analisis, diperoleh kadar plastik optimum sebesar 2,07%, yang kemudian dibulatkan menjadi 2,1% terhadap berat agregat kasar sebesar 9,83 gram. Pemilihan nilai stabilitas maksimum sebagai acuan bertujuan untuk memastikan bahwa campuran yang dirancang memiliki kekuatan dan durabilitas yang optimal.

Pemilihan nilai stabilitas maksimum sebagai dasar penentuan kadar optimum bertujuan untuk memastikan bahwa campuran aspal yang dirancang memiliki kekuatan dan durabilitas yang optimal. Untuk memperjelas hubungan matematis antara kadar plastik (variabel bebas) dan nilai stabilitas (variabel terikat), dilakukan analisis regresi polinomial.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai stabilitas mengalami fluktuasi terhadap variasi kadar plastik, sehingga hubungan antara kedua variabel tersebut membentuk pola parabola. Berdasarkan bentuk grafik yang terbuka ke bawah, dapat disimpulkan bahwa koefisien dari variabel kuadrat (x^2) pada persamaan regresi bernilai negatif. Oleh karena

itu, titik puncak parabola yang menggambarkan nilai stabilitas maksimum digunakan untuk menentukan kadar plastik optimum.

Dengan demikian, kadar plastik optimum diperoleh pada titik di mana nilai stabilitas mencapai maksimum, yaitu sebesar 2,07%, yang menunjukkan kondisi campuran paling stabil secara struktural.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, kadar plastik optimum dengan menggunakan jenis plastik LDPE ditentukan berdasarkan nilai stabilitas. Pertama, (Yoga & Prima, 2023) menemukan kadar plastik optimum sebesar 7% terhadap agregat panas, menghasilkan nilai stabilitas 2.456 kg. Kedua, (Pribadi dkk., 2023) melaporkan kadar plastik optimum sebesar 5% terhadap berat aspal (dengan kadar aspal 6,3%) dengan nilai stabilitas mencapai 421,579 kg. Ketiga, (Yunus dkk., 2021) memperoleh kadar plastik optimum sebesar 0,3% terhadap berat aspal (kadar aspal 2,3%) dengan nilai stabilitas tertinggi yaitu 1212,08 kg

Perbedaan kadar plastik yang digunakan dalam masing-masing penelitian juga diikuti oleh variasi dalam metode yang diterapkan. Variasi dalam persentase penambahan limbah plastik ke dalam campuran, baik terhadap berat agregat maupun terhadap berat aspal, serta perbedaan dalam metode pencampuran seperti metode pencampuran kering (*dry mix*) maupun basah (*wet mix*) berkontribusi terhadap perbedaan signifikan dalam hasil nilai stabilitas yang diperoleh. Dengan demikian, faktor-faktor tersebut secara langsung memengaruhi kinerja mekanis campuran dan perlu diperhatikan secara cermat dalam proses perencanaan dan evaluasi campuran aspal yang dimodifikasi.

4.7 Ketahanan Campuran Aspal Terhadap Keausan

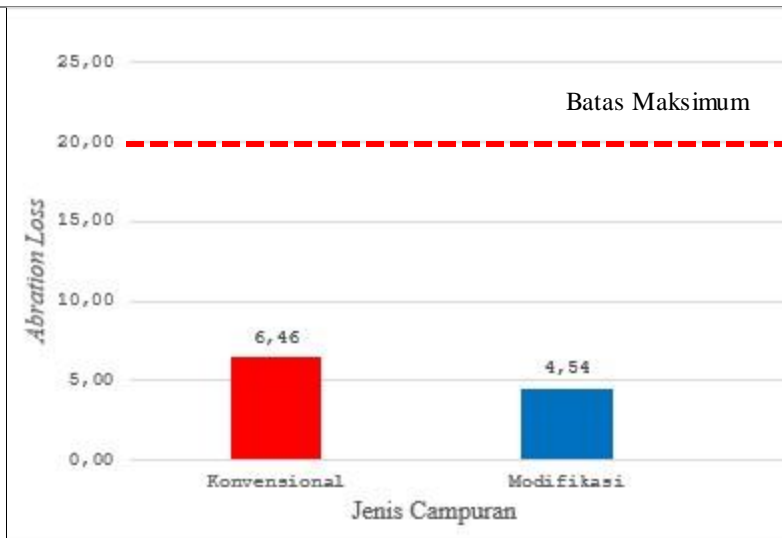
Pengujian *Cantabro* dilakukan untuk mengevaluasi tingkat ketahanan campuran terhadap keausan akibat gaya mekanis yang terjadi selama masa layanan perkerasan. Uji ini memberikan gambaran sejauh mana material campuran mampu mempertahankan integritasnya saat mengalami gesekan dan tumbukan dalam kondisi kering. Semakin kecil persentase kehilangan material (keausan) yang dihasilkan dari pengujian tersebut, maka semakin tinggi tingkat ketahanan campuran terhadap kerusakan permukaan. Pengujian ini diaplikasikan baik pada campuran aspal konvensional maupun campuran yang telah dimodifikasi, guna membandingkan performa masing-masing jenis campuran terhadap keausan. Hasil lengkap dari pengujian *Cantabro* untuk kedua jenis campuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18.

Tabel 4.17 Hasil Pengujian *Cantabro Test* Campuran Konvensional

No	Benda Uji	Berat Benda Uji (gr)		Abrasion Loss (%)	Spesifikasi ASTM-D7064	Keterangan
		M0	M1			
1	A	1.259,40	1.175,30	6,68	$\leq 20\%$	Memenuhi
2	B	1.259,80	1.174,30	6,79	$\leq 20\%$	Memenuhi
3	C	1.260,00	1.185,50	5,91	$\leq 20\%$	Memenuhi
Rata-rata				6,46	$\leq 20\%$	Memenuhi

Tabel 4.18 Hasil Pengujian *Cantabro Test* Campuran Modifikasi

No	Benda Uji	Berat Benda Uji (gr)		Abrasion Loss (%)	Spesifikasi ASTM-D7064	Keterangan
		M0	M1			
1	A	1.264,80	1.214,10	4,01	$\leq 20\%$	Memenuhi
2	B	1.266,80	1.230,40	2,87	$\leq 20\%$	Memenuhi
3	C	1.265,80	1.180,50	6,74	$\leq 20\%$	Memenuhi
Rata-rata				4,54	$\leq 20\%$	Memenuhi



Gambar 4.11 *Abrasion Loss* pada Campuran Konvensional dan Modifikasi



(a)



(b)

Gambar 4.12 Benda Uji Campuran Modifikasi Sebelum dan Setelah Pengujian

(a) Konvensional (b) Modifikasi

Berdasarkan hasil pengujian yang tercantum pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 serta ditunjukkan secara visual melalui Gambar 4.11, diketahui bahwa kedua jenis campuran baik campuran konvensional maupun campuran modifikasi memiliki nilai keausan yang rendah dan masih berada dalam batas maksimum yang ditetapkan, yaitu $\leq 20\%$, sebagaimana disyaratkan dalam spesifikasi teknis. Meskipun keduanya memenuhi kriteria tersebut, campuran modifikasi menunjukkan performa yang lebih baik dengan nilai keausan yang lebih rendah sebesar 1,92% dibandingkan campuran konvensional. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penggunaan material modifikasi pada campuran dapat meningkatkan ketahanan terhadap keausan, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan campuran dalam menghadapi beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan secara berkelanjutan.

Selain itu, secara visual juga terlihat bahwa pada campuran modifikasi, tingkat kehancuran yang terjadi relatif lebih rendah dibandingkan dengan campuran konvensional. Hal ini ditunjukkan dengan terlepasnya agregat yang umumnya hanya berupa agregat halus pada bagian tepi atas benda uji. Sebaliknya, pada beberapa benda uji dari campuran konvensional, terlihat bahwa agregat kasar turut terlepas, yang mengindikasikan ikatan antar agregat yang kurang kuat. Proses penyelimutan agregat kasar menggunakan limbah plastik LDPE memberikan daya lekat tambahan pada permukaan agregat. Sifat plastis dan termoplastis dari plastik memungkinkan terbentuknya lapisan perekat yang meningkatkan kohesi antar partikel agregat, baik agregat halus maupun kasar. Dengan penambahan limbah plastik LDPE sebesar 2,10%, campuran menunjukkan peningkatan daya ikat antar agregat, sehingga mampu menahan beban yang lebih besar serta lebih tahan terhadap kerusakan akibat gaya mekanis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan pengaruh penambahan limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) pada campuran aspal beton lapis aus :

1. Pada penelitian ini, variasi penambahan limbah plastik LDPE dengan presentase 0%, 2%, 3% dan 4% pada campuran aspal AC-WC menunjukkan bahwa seluruh benda uji masih memenuhi kriteria karakteristik *Marshall* sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga (2025).
 - a. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh bahwa pada kadar plastik 0% (campuran konvensional), nilai kepadatan mencapai 2,45 gr/cc, stabilitas 1.177 kg, VIM 4,06%, VMA 16,27%, VFB 75,06%, dan *flow* 3,37 mm.
 - b. Pada penambahan 2% LDPE terjadi penurunan nilai kepadatan menjadi 2,43 gr/cc, stabilitas 1.777 kg, VIM 4,85%, VMA 16,96%, VFB 71,39%, serta *flow* 2,83 mm.
 - c. Selanjutnya, pada kadar 3% LDPE, nilai kepadatan naik menjadi 2,44 gr/cc, stabilitas mencapai 1.919 kg, VIM 4,44%, VMA 16,60%, VFB 73,27%, dan *flow* 3,66 mm.
 - d. Sementara itu pada kadar 4% LDPE, stabilitas mengalami sedikit penurunan yaitu 1.741 kg, kepadatan 2,44 dan *flow* 3,70 relatif stabil, serta VIM 4,70%, VMA 16,83%, dan VFB 72,10%.

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa, nilai kepadatan, VFB, *flow* cenderung meningkat. Namun, untuk parameter stabilitas, VIM, VMA, dan *Marshall Quotient* (MQ) seiring bertambahnya plastik akan mengalami peningkatan dan penurunan pada persentase tertentu sehingga pada penentuan kadar plastik optimum menggunakan nilai maksimum dari nilai stabilitas yaitu 2,1%.

2. Nilai *abrasion loss* pada kedua jenis campuran telah memenuhi spesifikasi ASTM D7064, yaitu dengan batas maksimum sebesar 20%. Nilai *abrasion loss* yang diperoleh pada campuran konvensional sebesar 6,46%, sedangkan pada campuran modifikasi sebesar 4,54%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa campuran modifikasi dengan penambahan limbah plastik LDPE memiliki nilai *abrasion loss* yang lebih rendah sebesar 1,92% dibandingkan dengan campuran konvensional.

Secara visual, pada campuran modifikasi terlihat bahwa hanya agregat halus yang terlepas, sementara pada campuran konvensional terdapat pula agregat kasar yang ikut terlepas. Hal ini mengindikasikan bahwa penyalimutan agregat dengan plastik memberikan daya lekat yang lebih baik, mengingat plastik memiliki sifat plastis dan termoplastis. Sifat tersebut berkontribusi terhadap peningkatan ikatan antara agregat kasar, agregat halus, dan aspal dalam campuran.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dengan judul pengaruh penambahan plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) terhadap campuran beton aspal, penulis dapat memberikan saran sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan variasi kadar limbah plastik LDPE lebih dari satu persentase, sehingga dapat diketahui kadar optimum yang memberikan kinerja terbaik pada campuran AC-WC.
2. Pada saat penyalimutan agregat kasar menggunakan plastik, perlu untuk mengecek kembali plastik yang telah dicacah agar tidak ada plastik yang memiliki ukuran lebih dari spesifikasi karena akan sulit untuk menyalimuti agregat kasar.
3. Dari sisi implementasi praktis, penggunaan limbah plastik LDPE sebagai bahan tambahan diharapkan tidak hanya memperbaiki kualitas campuran aspal, tetapi juga menjadi solusi pemanfaatan limbah plastik dalam skala besar, sehingga mendukung program pembangunan jalan yang berwawasan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Absyah, M. R., & Hartatik, N. (2023). *Analisis perbandingan penggunaan aspal pen 60/70 modif pg 70 dengan aspal curah pada campuran ac-wc*. 1275–1289.
- Bina Marga. (2025). Spesifikasi Umum 2025. *Jurnal Teknik Sipil, Januari*, 1367.
- Dinar, P., & Primasworo. (2023). Karakteristik Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Agregat Yang Menggunakan Limbah Plastik (Low Density Polyethylene) LDPE. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 85–94. <https://doi.org/10.33369/ijts.15.2.85-94>
- Harta, F., & Fadhli, A. (2022). Analysis of Aggregate Temperature Using the Substitution Method on Stability and Volumetric of Marshall in Asphalt Concrete Analisis Temperatur Agregat Dengan Metode Substitusi Terhadap Stabilitas Dan Volumetrik Marshall Pada Beton Aspal Article Info Abst. *Journal of Scientech Research and Development*, 4(1), 88–95. <https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR>
- Latif, A., & Setiawan, A. (2023). Pengaruh Penambahan Plastik High Density Polyethylene (HDPE) dan Low Density Polyethylene (LDPE) Terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Metode Kering. *Sainteks*, 20(2), 153–165. <https://doi.org/10.30595/sainteks.v20i2.17200>
- Lombogja, Y. M. A., Palenewen, S. C. N., & Lamentik, L. G. J. (2022). Studi Pemanfaatan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate (PETE) sebagai Bahan Substitusi Sebagian Aspal pada Campuran Perkerasan Laston. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 12(2), 141–150.
- OGFC. *Standard Practice for Open-Graded Friction Course (OGFC) Asphalt Mixture*. 6925–6927. <https://doi.org/10.1520/D7064>
- Pradana, M. A., & Hartatik, N. (2023). *ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN ASPAL POLIMER DENGAN METODE MARSHALL TEST*. 1079–1086.
- Pribadi, Gali, I., Indriasari, R., & Rafi, L. (2023). Analisis Substitusi Limbah Plastik (LDPE) terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Laston AC-WC. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 5(02), 334–347. <https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.945>
- Sukirman, S. (2010). Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. In *Nova Bandung*.
- Suryadi, A. (2020). Analisa Karakteristik Marshall Dengan Limbah Plastik Pp Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Laston Ac-Wc. *Jurnal JOS-MRK*, 1(3), 67–72. <https://doi.org/10.55404/jos-mrk.2020.01.03.67-72>
- Yoga, P .S., & Prima, J .s. (2023). ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL (AC-WC) DENGAN LIMBAH PLASTIK LOW DENSITY POLYETHYLENE (Analysis Of Characteristics Of Asphalt Mixture (AC-WC) With Low Density Polyethylene Plastic Waste). *Jurnal Artesis*, 3(2), 225–232.
- Yunus, Ilham, H., Maryam, A., & Andi. (2021). Analisis Campuran (AC-WC Asb) Menggunakan Plastik Tipe LDPE Sebagai Bahan Tambah. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 6(2), 108–117. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v6i2.335>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian Analisa Saringan ¾



LABORATORIUM TRANSPORTASI & JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO

Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 156

PROYEK	: Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Yoga Pangestu - F111 21 039
PEKERJAAN	: Analisa Saringan	DIHITUNG	: Yoga Pangestu - F111 21 039
LOKASI	: Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya	DIPERIKSA	: Idham Chalid
CONTOH	: Batu Pecah PT. Hasil Logam Utama	TANGGAL	: 16 Januari 2025
PERCOBAAN ANALISA SARINGAN			

JENIS MATERIAL : Fraksi ¾ (EX. Watusampu)

Jumlah Sampel : 3000,10 gr

Sieve No.	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Kumulatif Tertahan (gr)	% Tertahan	% Lolos
¾ "	19,00	96,80	96,80	3,23	96,77
1/2 "	12,50	935,30	1032,10	34,44	65,56
3/8 "	9,50	1091,10	2123,20	70,85	29,15
#4	4,75	853,80	2977,00	99,34	0,66
#8	2,36	8,40	2985,40	99,62	0,38
#16	1,18	0,00	2985,40	99,62	0,38
#30	0,60	0,00	2985,40	99,62	0,38
#50	0,30	0,00	2985,40	99,62	0,38
#100	0,15	2,00	2987,40	99,68	0,32
#200	0,08	2,40	2989,80	99,76	0,24
PAN	-	7,10	2996,90	100,00	0,00



Palu, 2025
Mengetahui
Kepala Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya

Dr. Arief Setiawan, ST., MT
NIP : 19750621 200312 1 003

Lampiran 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan 3/8



LABORATORIUM TRANSPORTASI & JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO

Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 156

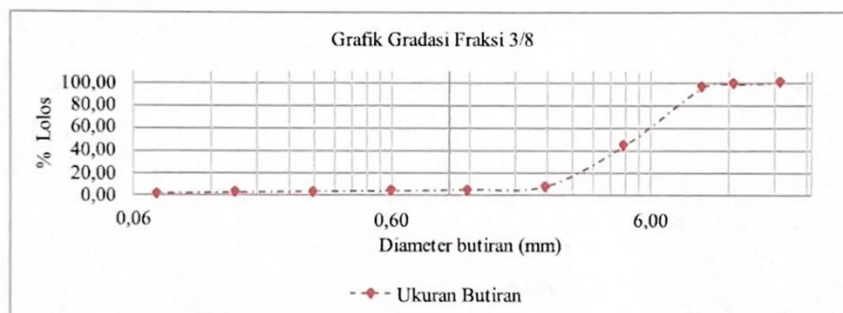
PROYEK	: Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Yoga Pangestu - F111 21 039
PEKERJAAN	: Analisa Saringan	DIHITUNG	: Yoga Pangestu - F111 21 039
LOKASI	: Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya	DIPERIKSA	: Idham Chalid
CONTOH	: Batu Pecah PT. Hasil Logam Utama	TANGGAL	: 16 Januari 2025

PERCOBAAN ANALISA SARINGAN

JENIS MATERIAL : Fraksi 3/8 (EX. Watusampu)

Jumlah Sampel : 3000,10 gr

Sieve No.	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Kumulatif Tertahan (gr)	% Tertahan	% Lolos
3/4 "	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,50	38,40	38,40	1,28	98,72
3/8 "	9,50	77,50	115,90	3,87	96,13
#4	4,75	1550,90	1666,80	55,69	44,31
#8	2,36	1085,90	2752,70	91,98	8,02
#16	1,18	89,10	2841,80	94,95	5,05
#30	0,60	32,40	2874,20	96,04	3,96
#50	0,30	15,70	2889,90	96,56	3,44
#100	0,15	23,50	2913,40	97,35	2,65
#200	0,08	23,80	2937,20	98,14	1,86
PAN	-	55,60	2992,80	100,00	0,00



Palu, 2025
Mengetahui
Kepala Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya

Dr. Arief Setiawan, S.T., M.T
NIP : 19750621/200312 1 003

Lampiran 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Abu Batu



LABORATORIUM TRANSPORTASI & JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO

Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 156

PROYEK	: Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Yoga Pangestu - F111 21 039
PEKERJAAN	: Analisa Saringan	DIHITUNG	: Yoga Pangestu - F111 21 039
LOKASI	: Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya	DIPERIKSA	: Idham Chalid
CONTOH	: Batu Pecah PT. Hasal Logam Utama	TANGGAL	: 16 Januari 2025

PERCOBAAN ANALISA SARINGAN

JENIS MATERIAL : Fraksi Abu Batu (EX. Watusampu)

Jumlah Sampel : 1500,10 gr


Sieve No.	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Kumulatif Tertahan (gr)	% Tertahan	% Lolos
3/4 "	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 "	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
#4	4,75	88,20	88,20	5,91	94,09
#8	2,36	178,70	266,90	17,88	82,12
#16	1,18	407,60	674,50	45,18	54,82
#30	0,60	321,10	995,60	66,69	33,31
#50	0,30	203,90	1199,50	80,35	19,65
#100	0,15	186,20	1385,70	92,83	7,17
#200	0,08	63,50	1449,20	97,08	2,92
PAN	-	43,60	1492,80	100,00	0,00

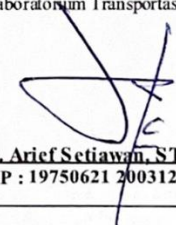


Palu, 2025
Mengetahui
Kepala Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya



Dr. Arief Setiawan, ST., MT
NIP : 19750621 200312 1 003

Lampiran 4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 3/4


	LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN JALAN RAYA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO Kampus Bumi Tadulako Tondo Jalan Soekarno Hatta Km 9 Telp (0451) 422611 - 422355 Fax (0451) 422844 Palu - Sulawesi Tengah 94111			
Proyek : Tugas Akhir Pekerjaan : Agregat fraksi 3/4" Lokasi : Lab. Transportasi & Jalan Raya Sumber Bahan : PT. Hasal Logam Utama (ex. Watusampu) Contoh : Batu Pecah 3/4"	Dikerjakan : Yoga Pangestu - F111 21 039 Dihitung : Yoga Pangestu - F111 21 039 Diperiksa : Idham Chalid Tanggal : 16 Januari 2025			
PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR (SNI 1969 : 2008)				
Pengujian	Notasi	Sampel I	Sampel II	Satuan
Berat Contoh Kering Oven	A	2.568,50	2.573,50	Gram
Berat Contoh Jenuh Kering Permukaan Di Udara	B	2.591,90	2.592,10	Gram
Berat Contoh Dalam Air	C	1.670,00	1.670,20	Gram
Perhitungan	Notasi	Sampel I	Sampel II	Rata - Rata
Berat Jenis Curah Kering (S _d)	$\frac{A}{(B - C)}$	2,786	2,792	2,789
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan (S _s)	$\frac{B}{(B - C)}$	2,811	2,812	2,812
Berat Jenis Semu (S _a)	$\frac{A}{(A - C)}$	2,859	2,849	2,854
Penyerapan Air (S _w)	$\frac{B - A}{A} \times 100\%$	0,911	0,723	0,817
Berat Jenis Efektif	$\frac{A}{(A - C)}$	2,822	2,820	2,821

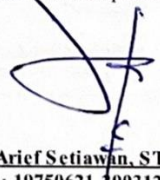
Palu, 16 Januari 2025
 Mengetahui
 Kepala Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya

Dr. Arief Setiawan, ST., MT
 NIP : 19750621 200312 1 003

Lampiran 5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 3/8




		LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN JALAN RAYA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO Kampus Bumi Tadulako Tondo Jalan Soekarno Hatta Km 9 Telp (0451) 422611 - 422355 Fax (0451) 422844 Palu - Sulawesi Tengah 94111		
Proyek : Tugas Akhir Pekerjaan : Agregat fraksi 3/8" Lokasi : Lab. Transportasi & Jalan Raya Sumber Bahan : PT. Hasal Logam Utama (ex. Watusampu) Contoh : Batu Pecah 3/8"	Dikerjakan : Yoga Pangestu - F111 21 039 Dihitung : Yoga Pangestu - F111 21 039 Diperiksa : Idham Chalid Tanggal : 16 Januari 2025			
PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR (SNI 1969 : 2008)				
Pengujian	Notasi	Sampel I	Sampel II	Satuan
Berat Contoh Kering Oven	A	2.492,00	2.487,40	Gram
Berat Contoh Jenuh Kering Permukaan Di Udara	B	2.520,30	2.514,90	Gram
Berat Contoh Dalam Air	C	1.623,90	1.623,90	Gram
Perhitungan	Notasi	Sampel I	Sampel II	Rata - Rata
Berat Jenis Curah Kering (S_d)	$\frac{A}{(B - C)}$	2,780	2,792	2,786
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan (S_s)	$\frac{B}{(B - C)}$	2,812	2,823	2,817
Berat Jenis Semu (S_a)	$\frac{A}{(A - C)}$	2,871	2,881	2,876
Penyerapan Air (S_w)	$\frac{B - A}{A} \times 100\%$	1,136	1,106	1,121
Berat Jenis Efektif	$\frac{A}{(A - C)}$	2,825	2,836	2,831
Palu, 2025 Mengetahui Kepala Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya		 Dr. Arief Setiawan, ST., MT NIP : 19750621 200312 1 003		

Lampiran 6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus


	LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN JALAN RAYA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO Kampus Bumi Tadulako Tondo Jalan Soekarno Hatta Km 9 Telp (0451) 422611 - 422355 Fax (0451) 422844 Palu - Sulawesi Tengah 94111			
Proyek : Tugas Akhir Lokasi : Lab. Transportasi & Jalan Raya Sumber Bahan : PT. Hasal Logam Utama (ex. Watusampu) Contoh : Abu Batu Lolos Saringan No. 4	Dikerjakan : Yoga Pangestu - F111 21 039 Dihitung : Yoga Pangestu - F111 21 039 Diperiksa : Idham Chalid Tanggal : 16 Januari 2025			
PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS (SNI 1970 : 2008)				
Pengujian	Notasi	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Contoh Kondisi Jenuh Kering Permukaan	S	500,00	500,00	Gram
Berat Contoh Kering Oven	A	495,10	481,00	Gram
Berat Piknometer Yang Berisi Air	B	683,48	684,50	Gram
Berat Piknometer Dengan Benda Uji Dan Air Sampai Batas Pembacaan	C	988,00	990,00	Gram
Perhitungan	Notasi	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
Berat Jenis Curah Kering (S_d)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,533	2,47	2,503
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan (S_s)	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2,558	2,57	2,564
Berat Jenis Semu (S_a)	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2,598	2,74	2,669
Penyerapan Air (S_w)	$\frac{S - A}{A} \times 100\%$	0,990	3,95	2,470
Berat Jenis Efektif	$\frac{A}{(A - C)}$	2,565	2,607	2,586

Palu, 2025
 Mengetahui
 Kepala Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya

Dr. Arief Setiawan, ST., MT
NIP : 19750621 200312 1 003

Lampiran 7 Hasil Pengujian Abrasi 3/4

	LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN JALAN RAYA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO Kampus Bumi Tadulako Tondo Jalan Soekarno Hatta Km 9 Telp (0451) 422611 - 422355 Fax (0451) 422844 Palu - Sulawesi Tengah 94111																																																																																	
Proyek : Tugas Akhir Pekerjaan : Abrasi Agregat Kasar Lokasi : Lab. Transportasi & Jalan Raya Sumber Bahan : PT. Hasal Logam Utama (ex. Watusampu) Contoh : Batu Pecah	Dikerjakan : Yoga Pangestu - F 111 21 039 Dihitung : Yoga Pangestu - F 111 21 039 Diperiksa : Idham Chalid,  Tanggal : 16 Januari 2025																																																																																	
PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES (SNI 2417 : 2008)																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Gradasi Pemeriksaan</td> <td style="width: 60%;">Metode : A B / C / D / E / F / G</td> </tr> <tr> <td>Ukuran Saringan</td> <td>Berat Contoh (Gram)</td> </tr> <tr> <td> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">Lolos</th> <th style="width: 25%;">Tertahan</th> <th style="width: 25%;">Satuan</th> <th style="width: 25%;">Sampel 1</th> <th style="width: 25%;">Sampel 2</th> </tr> <tr><td>76, 20 (3")</td><td>63,50 (2 1/2")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>63,50 (2 1/2")</td><td>50,80 (2")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50,80 (2")</td><td>36,10 (1 1/2")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>36,10 (1 1/2")</td><td>25,40 (1")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25,40 (1")</td><td>19,10 (3/4")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19,10 (3/4")</td><td>12,70 (1/2")</td><td>mm</td><td>2.500,30</td><td>2.502,80</td></tr> <tr><td>12,70 (1/2")</td><td>9,52 (3/8")</td><td>mm</td><td>2.500,00</td><td>2.501,50</td></tr> <tr><td>9,52 (3/8")</td><td>6,35 (1/4")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6,35 (1/4")</td><td>4,75 (No. 4)</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4,75 (No. 4)</td><td>2,36 (No.8)</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> </table> </td> <td></td> </tr> <tr> <td>A. Jumlah Berat Sampel Sebelum Pengujian</td> <td>gram</td> <td>5.000,30</td> <td>5.004,30</td> </tr> <tr> <td>B. Berat Sampel Tertahan Saringan No. 12</td> <td>gram</td> <td>4.009,10</td> <td>4.011,70</td> </tr> <tr> <td>C. Berat Sampel Lolos Saringan No. 12 (A - B)</td> <td>gram</td> <td>991,20</td> <td>992,60</td> </tr> <tr> <td>D. Nilai Keausan Agregat [(C/A) X 100%]</td> <td>%</td> <td>19,82</td> <td>19,83</td> </tr> <tr> <td>Nilai Rata - Rata Keausan Agregat</td> <td>%</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">19,83</td> </tr> </table>		Gradasi Pemeriksaan	Metode : A B / C / D / E / F / G	Ukuran Saringan	Berat Contoh (Gram)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">Lolos</th> <th style="width: 25%;">Tertahan</th> <th style="width: 25%;">Satuan</th> <th style="width: 25%;">Sampel 1</th> <th style="width: 25%;">Sampel 2</th> </tr> <tr><td>76, 20 (3")</td><td>63,50 (2 1/2")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>63,50 (2 1/2")</td><td>50,80 (2")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50,80 (2")</td><td>36,10 (1 1/2")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>36,10 (1 1/2")</td><td>25,40 (1")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25,40 (1")</td><td>19,10 (3/4")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19,10 (3/4")</td><td>12,70 (1/2")</td><td>mm</td><td>2.500,30</td><td>2.502,80</td></tr> <tr><td>12,70 (1/2")</td><td>9,52 (3/8")</td><td>mm</td><td>2.500,00</td><td>2.501,50</td></tr> <tr><td>9,52 (3/8")</td><td>6,35 (1/4")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6,35 (1/4")</td><td>4,75 (No. 4)</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4,75 (No. 4)</td><td>2,36 (No.8)</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> </table>	Lolos	Tertahan	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	76, 20 (3")	63,50 (2 1/2")	mm			63,50 (2 1/2")	50,80 (2")	mm			50,80 (2")	36,10 (1 1/2")	mm			36,10 (1 1/2")	25,40 (1")	mm			25,40 (1")	19,10 (3/4")	mm			19,10 (3/4")	12,70 (1/2")	mm	2.500,30	2.502,80	12,70 (1/2")	9,52 (3/8")	mm	2.500,00	2.501,50	9,52 (3/8")	6,35 (1/4")	mm			6,35 (1/4")	4,75 (No. 4)	mm			4,75 (No. 4)	2,36 (No.8)	mm				A. Jumlah Berat Sampel Sebelum Pengujian	gram	5.000,30	5.004,30	B. Berat Sampel Tertahan Saringan No. 12	gram	4.009,10	4.011,70	C. Berat Sampel Lolos Saringan No. 12 (A - B)	gram	991,20	992,60	D. Nilai Keausan Agregat [(C/A) X 100%]	%	19,82	19,83	Nilai Rata - Rata Keausan Agregat	%	19,83	
Gradasi Pemeriksaan	Metode : A B / C / D / E / F / G																																																																																	
Ukuran Saringan	Berat Contoh (Gram)																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">Lolos</th> <th style="width: 25%;">Tertahan</th> <th style="width: 25%;">Satuan</th> <th style="width: 25%;">Sampel 1</th> <th style="width: 25%;">Sampel 2</th> </tr> <tr><td>76, 20 (3")</td><td>63,50 (2 1/2")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>63,50 (2 1/2")</td><td>50,80 (2")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50,80 (2")</td><td>36,10 (1 1/2")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>36,10 (1 1/2")</td><td>25,40 (1")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25,40 (1")</td><td>19,10 (3/4")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19,10 (3/4")</td><td>12,70 (1/2")</td><td>mm</td><td>2.500,30</td><td>2.502,80</td></tr> <tr><td>12,70 (1/2")</td><td>9,52 (3/8")</td><td>mm</td><td>2.500,00</td><td>2.501,50</td></tr> <tr><td>9,52 (3/8")</td><td>6,35 (1/4")</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6,35 (1/4")</td><td>4,75 (No. 4)</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4,75 (No. 4)</td><td>2,36 (No.8)</td><td>mm</td><td></td><td></td></tr> </table>	Lolos	Tertahan	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	76, 20 (3")	63,50 (2 1/2")	mm			63,50 (2 1/2")	50,80 (2")	mm			50,80 (2")	36,10 (1 1/2")	mm			36,10 (1 1/2")	25,40 (1")	mm			25,40 (1")	19,10 (3/4")	mm			19,10 (3/4")	12,70 (1/2")	mm	2.500,30	2.502,80	12,70 (1/2")	9,52 (3/8")	mm	2.500,00	2.501,50	9,52 (3/8")	6,35 (1/4")	mm			6,35 (1/4")	4,75 (No. 4)	mm			4,75 (No. 4)	2,36 (No.8)	mm																													
Lolos	Tertahan	Satuan	Sampel 1	Sampel 2																																																																														
76, 20 (3")	63,50 (2 1/2")	mm																																																																																
63,50 (2 1/2")	50,80 (2")	mm																																																																																
50,80 (2")	36,10 (1 1/2")	mm																																																																																
36,10 (1 1/2")	25,40 (1")	mm																																																																																
25,40 (1")	19,10 (3/4")	mm																																																																																
19,10 (3/4")	12,70 (1/2")	mm	2.500,30	2.502,80																																																																														
12,70 (1/2")	9,52 (3/8")	mm	2.500,00	2.501,50																																																																														
9,52 (3/8")	6,35 (1/4")	mm																																																																																
6,35 (1/4")	4,75 (No. 4)	mm																																																																																
4,75 (No. 4)	2,36 (No.8)	mm																																																																																
A. Jumlah Berat Sampel Sebelum Pengujian	gram	5.000,30	5.004,30																																																																															
B. Berat Sampel Tertahan Saringan No. 12	gram	4.009,10	4.011,70																																																																															
C. Berat Sampel Lolos Saringan No. 12 (A - B)	gram	991,20	992,60																																																																															
D. Nilai Keausan Agregat [(C/A) X 100%]	%	19,82	19,83																																																																															
Nilai Rata - Rata Keausan Agregat	%	19,83																																																																																
Catatan : Pengujian ini dilakukan menggunakan metode B dengan jumlah bola baja 11 buah dengan jumlah putaran sebanyak 500 putaran serta kecepatan putaran alat yaitu 30 - 33 rpm.																																																																																		
Palu, 2025 Mengetahui Kepala Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  Dr. Arief Setiawan, ST, MT NIP : 19750621/200312 1 003 </div>																																																																																		

Lampiran 8 Hasil Pengujian Abrasi 3/8


	LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN JALAN RAYA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO Kampus Bumi Tadulako Tondo Jalan Soekarno Hatta Km 9 Telp (0451) 422611 - 422355 Fax (0451) 422844 Palu - Sulawesi Tengah 94111	
Proyek : Tugas Akhir Pekerjaan : Abrasi Agregat Kasar Lokasi : Lab. Transportasi & Jalan Raya Sumber Bahan : PT. Hasal Logam Utama (ex. Watusampu) Contoh : Batu Pecah	Dikerjakan : Yoga Pangestu - F 111 21 039 Dihitung : Yoga Pangestu - F 111 21 039 Diperiksa : Idham Chalid Tanggal : 16 Januari 2025	

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES (SNI 2417 : 2008)

Gradasi Pemeriksaan			Metode : A / B / C / D / E / F / G		
Ukuran Saringan			Berat Contoh (Gram)		
Lolos	Tertahan	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	
76, 20 (3")	63,50 (2 1/2")	mm			
63,50 (2 1/2")	50,80 (2")	mm			
50,80 (2")	36,10 (1 1/2")	mm			
36,10 (1 1/2")	25,40 (1")	mm			
25,40 (1")	19,10 (3/4")	mm			
19,10 (3/4")	12,70 (1/2")	mm			
12,70 (1/2")	9,52 (3/8")	mm			
9,52 (3/8")	6,35 (1/4")	mm	2.508,80	2.500,50	
6,35 (1/4")	4,75 (No. 4)	mm	2.508,40	2.500,80	
4,75 (No. 4)	2,36 (No.8)	mm			
A.	Jumlah Berat Sampel Sebelum Pengujian	gram	5.017,20	5.001,30	
B.	Berat Sampel Tertahan Saringan No. 12	gram	3.594,90	3.611,70	
C.	Berat Sampel Lolos Saringan No. 12 (A - B)	gram	1.422,30	1.389,60	
D.	Nilai Keausan Agregat [(C/A) X 100%]	%	28,35	27,78	
Nilai Rata - Rata Keausan Agregat		%	28,07		

Catatan :
 Pengujian ini dilakukan menggunakan metode C dengan jumlah bola baja 11 buah dengan jumlah putaran sebanyak 500 putaran serta kecepatan putaran alat yaitu 30 - 33 rpm.

Palu,
 Mengetahui
 Kepala Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya


Dr. Arief Setiawan, ST., MT
 NIP : 19750621/ 200312 1 003

2025

Lampiran 9 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal PEN 60/70



LABORATORIUM TRANSPORTASI & JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO

Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 156

PROYEK	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Yoga Pangestu - F11121039
PEKERJAAN	: Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen dan Ter	DIHITUNG	: Yoga Pangestu - F11121039
LOKASI	: Lab. Transportasi & Jalan Raya	DIPERIKSA	: Hendra Sari, S.T <i>HS</i>
CONTOH	: Aspal Pertamina PEN 60/70	TANGGAL	: 28 Oktober 2024

PEMERIKSAAN BERAT JENIS BITUMEN KERAS DAN TER

(SNI-06-2456-1991)

No	Kegiatan		Sampel I	Sampel II
1	Berat Picnometer + Air	(B) gram	67,31	73,76
	Berat Picnometer	(A) gram	20,26	25,14
	BERAT AIR/ISI PICNOMETER (A)	(X) gram	47,05	48,62
2	Berat Picnometer + Contoh	(C) gram	42,00	47,67
	Berat Picnometer	(A) gram	20,26	25,14
	BERAT CONTOH (B)	(Y) gram	21,74	22,53
3	Berat Picnometer + Air + Contoh	(D) gram	69,02	75,58
	Berat Picnometer + Contoh	(C) gram	42	47,67
	BERAT AIR (C)	(Z) gram	27,02	27,91
	ISI BITUMEN (A-C)	gram	20,03	20,71
	BERAT JENIS BITUMEN (B/A-C)	gram	1,085	1,088
Rata-rata			1,087	

Palu,

2025

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Pendidikan
Lab. Transportasi dan Jalan Raya

Dr. Arief Setiawan ST., MT.
NIP. 19750621 200312 1 003

Lampiran 10 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal PEN 60/70



LABORATORIUM TRANSPORTASI & JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO

Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 156

PROYEK	: Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Yoga Pangestu - F11121039
PEKERJAAN	: Pemeriksaan Penetrasi Bitumen	DIHITUNG	: Yoga Pangestu - F11121039
LOKASI	: Lab. Transportasi & Jalan Raya	DIPERIKSA	: Hendra Sari, ST <i>hs</i>
CONTOH	: Aspal PEN 60/70	TANGGAL	: 28 Oktober 2024

PEMERIKSAAN PENETRASI BAHAN-BAHAN BITUMEN (SNI-06-2456-1991)			
No	Kegiatan	Uraian	
1	Pembukaan Contoh	Contoh Dipanaskan Mulai jam : 14:00 ✓ Selesai Jam : 14:30	Pembacaan Suhu = 151°C
2	Mendinginkan Conton	Didiamkan di suhu ruangan Mulai jam : 14:30 ✓ Selesai Jam : 16:00	Pembacaan Suhu = 25°C
3	Mencapai Suhu Pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C ✓ Mulai jam : 16:00 Selesai Jam : 17:30	Pembacaan Suhu = 25°C
4	Pemeriksaan	Penetrasi ✓ Mulai jam : 17:30 Selesai Jam : 18:00	Pembacaan Suhu = 25°C

No	Penetrasi pada 25°C ; 5 detik	Sampel I	Sampel II
1	Pengamatan 1	66	64
2	Pengamatan 2	64	69
3	Pengamatan 3	71	55
	Pengamatan 4	67	66
4	Pengamatan 5	81	65
Rata-rata		69,80	63,80
		66,80	

Palu,

2025

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Pendidikan
Lab. Transportasi dan Jalan Raya

[Signature]
Dr. Arief Setiawan, ST., MT.
NIP. 19750621 200312 1 003

Lampiran 11 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal PEN 60/70



LABORATORIUM TRANSPORTASI & JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO

Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 156

PROYEK	: Penelitian Tugas Akhir	DIKERJAKAN	: Yoga Pangestu - F11121039
PEKERJAAN	: Pemeriksaan Daktilitas	DIHITUNG	: Yoga Pangestu - F11121039
LOKASI	: Lab. Transportasi & Jalan Raya	DIPERIKSA	: Hendra Sari, ST
CONTOH	: Aspal PEN 60/70	TANGGAL	: 17 September 2024

PEMERIKSAAN DAKTILITAS BAHAN-BAHAN BITUMEN
(SNI-06-2456-1991)

No	Kegiatan	Uraian
1	Pembukaan Contoh	Contoh dipanaskan Mulai Jam = 15:05 ✓ Selesai jam = 15:35 Pembacaan suhu oven = 149°C
2	Mendinginkan Contoh	Didiamkan pada suhu ruangan Mulai Jam = 15:35 ✓ Selesai jam = 16:05 Suhu Ruang = 25°C
3	Mencapai Suhu Pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C Mulai Jam = 16:05 ✓ Selesai jam = 17:35 Pembacaan suhu oven = 25°C
4	Pemeriksaan	Pemeriksaan Daktilitas Mulai Jam = 17:35 ✓ Selesai jam = 18:05 Pembacaan suhu oven = 25°C

Daktilitas pada 25°C, 5 cm per menit	Pembacaan pengukuran pada alat (cm)
Sampel 1	130,3
Sampel 2	152,7
Rata-rata	141,5

Palu,

2025

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Pendidikan
Lab. Transportasi dan Jalan Raya


Dr. Arief Setiawan, ST., MT
NIP. 19750621 200312 1 003

Lampiran 12 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal PEN 60/70



LABORATORIUM TRANSPORTASI & JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 156

PROYEK : Tugas Akhir
PEKERJAAN : Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
LOKASI : Lab. Transportasi & Jalan Raya
CONTOH : Aspal PEN 60/70
DIKERJAKAN : Yoga Pangestu - F11121039
DIHITUNG : Yoga Pangestu - F11121039
DIPERIKSA : Hendra Sari, ST
TANGGAL : 15 September 2024

PEMERIKSAAN TITIK LEMBOK
(SNI-06-2456-1991)


No	Kegiatan	Uraian
1	Pembukaan Contoh	Contoh Dipanaskan Mulai jam : 10:25 Selesai Jam : 10:55 Pembacaan Suhu = 159 °C
2	Mendinginkan Contoh	Didiamkan di suhu ruangan Mulai jam : 10:55 Selesai Jam : 11:25 Pembacaan Suhu = 25° C
3	Mencapai Suhu Pemeriksaan	Direndam pada suhu 5 ± 1 °C Mulai jam : 11:25 Selesai Jam : 11:55 Pembacaan Suhu = 5 ± 1 °C
4	Pemeriksaan	Titik Lembek Mulai jam : 11:55 Selesai Jam : 12:10 Pembacaan Suhu = 5 ± 1 °C

No	Suhu yang diamati (°C)	Waktu (detik)			
		Sampel I		Sampel II	
1	5	0'00,00"	0'00,00"	0'00,00"	0'00,00"
2	10	1'02,15"	1'02,15"	2'01,14"	2'01,14"
3	15	3'37,03"	3'37,03"	3'42,45"	3'42,45"
4	20	4'18,67"	4'18,67"	4'57,12"	4'57,12"
5	25	5'05,37"	5'05,37"	6'11,67"	6'11,67"
6	30	6'02,56"	6'02,56"	7'22,05"	7'22,05"
7	35	7'03,46"	7'03,46"	8'31,54"	8'31,54"
8	40	7'56,11"	7'56,11"	9'33,22"	9'33,22"
9	45	8'49,24"	8'49,24"	10'46,19"	10'46,19"
10	48	8'52,20"	8'52,20"	11'26,42"	11'26,42"
11	49	9'20,40"	9'20,40"	-	11'33,21"
12	50	9'45,21"	9'45,21"	-	-
13	52	-	10'16,45"	-	-
Titik Lembek (°C)		50	52	48	49
		49,75			

Palu,

2025

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Pendidikan
Lab. Transportasi dan Jalan Raya


Dr. Arief Setiawan, ST., M.T.
NIP. 19750621 200312 1 003

Lampiran 13 Hasil Pengujian Viskositas Aspal PEN 60/70



LABORATORIUM TRANSPORTASI & JALAN RAYA

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TADULAKO**

Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Telp. 422611 Psw 156

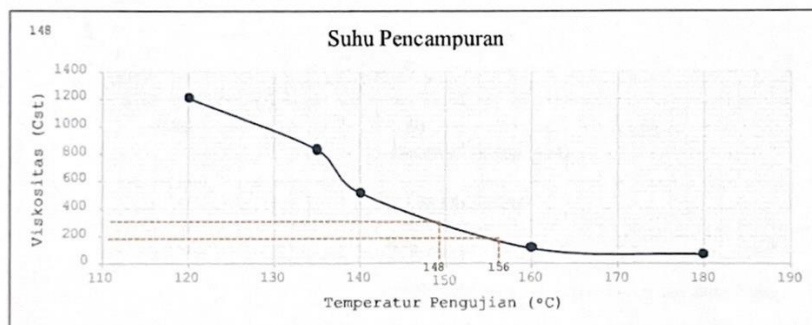
Proyek	: Tugas Akhir	Dikerjakan	: Yoga Pangestu - F11121039
Pekerjaan	: Pemeriksaan Viskositas Aspal	Dihitung	: Yoga Pangestu - F11121039
Lokasi	: Lab. Transportasi & Jalan Raya	Diperiksa	: Idham Chalid
Contoh	: Aspal Pen. 60/70	Tanggal	: 10 Oktober 2024

PEMERIKSAAN VISKOSITAS ASPAL

(SNI 7729 : 2011)

Pembukaan Contoh	Contoh dipanaskan	Temperatur Oven
	Mulai Jam : 13:00	120 °C
	Selesai Jam : 14:00	135 °C
Pemeriksaan	Kekentalan Aspal	140 °C
	Mulai Jam : 14:00	160 °C
	Selesai Jam : 14:25	180 °C

Pembacaan Suhu (°C)	Pengamatan					
	Waktu -1 (detik)	Waktu -2 (detik)	Rata-rata	Cst 1	Cst 2	Rata-rata
120	574,00	551,00	563	1229,5	1179,7	1204,6
135	416,00	364,00	390	887,2	774,5	830,8
140	260,00	229,00	245	549,2	482,0	515,6
160	62,00	58,00	60	117,7	108,6	113,2
180	39,00	31,00	35	79,0	63,0	71,0



Palu, 2025

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Pendidikan
Lab. Transportasi dan Jalan Raya

Dr. Arief Setiawan/ST., M.T.
NIP. 19750621 200312 1 003

Lampiran 14 Dokumentasi



