

**DURABILITAS CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC)*
DENGAN LIMBAH PLASTIK *POLIETILENA TEREFTALAT (PET)* SEBAGAI
PENAMBAH BAHAN PENGIKAT ASPAL**

(SKRIPSI)

Oleh

ANDRYAN WIBISONO

1815011091



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

DURABILITY OF ASPHALT CONCRETE MIXTURE – BINDER COURSE WITH POLYETHYLENE POLYETHYLENEREFTALAT PLASTIC WASTE AS AN ENHANCER OF ASPHALT BINDING MATERIAL

By

ANDRYAN WIBISONO

Road damage often occurs due to excessive volume of heavy vehicles so that vehicle loads cause strain and stress of the pavement layer. One way to improve the quality of asphalt mixtures is by adding PET plastic. Research was conducted to determine the effect of durability and strength of AC-BC mixtures with the addition of PET plastic waste as a binder additive in asphalt on Marshall parameters. Based on the results of the study, the specific gravity of asphalt increased and the penetration value decreased as the PET content increased because the asphalt became harder. Ductility decreased as more PET content made the asphalt more brittle. The softening point value increases as the PET content increases because the addition of PET increases the wax content in the asphalt. The IKS value of the PET mixture meets the minimum Bina Marga standard of 90%. This shows that the greater the percentage of PET mixture, the greater the IKS value. The greater the percentage of PET mixture, the greater the decrease in IDP value. The higher the percentage of PET mixture, the smaller the strength loss on the IDK value. The longer the soaking time and the more PET mixture in the mixture, the smaller the increase in stability and performance. The best durability in terms of IKS, IDP and IDK values occurred in the 60/70 AC- BC penetration asphalt mixture with 5% PET mixture.

Keywords : asphalt concrete-binder course, polyethylene terephthalate, durability, Marshall parameter, residual strength index, first durability index, second durability index.

ABSTRAK

DURABILITAS CAMPURAN ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE DENGAN LIMBAH PLASTIK POLYETHYLEN TEREPHTHALATE SEBAGAI PENAMBAH BAHAN PENGIKAT ASPAL

Oleh

ANDRYAN WIBISONO

Kerusakan jalan sering terjadi karena berlebihnya volume kendaraan berat sehingga beban kendaraan mengakibatkan regangan dan tegangan lapisan perkerasan. Salah satu cara untuk menaikkan mutu campuran beraspal dengan menambahkan plastik PET. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh durabilitas ketahanan dan kekuatan dari campuran AC-BC dengan penambahan limbah plastik PET sebagai additive pengikat pada aspal terhadap parameter Marshall. Berdasarkan hasil penelitian, berat jenis aspal mengalami kenaikan dan nilai penetrasi semakin menurun seiring bertambahnya kadar PET karena aspal menjadi lebih keras. Daktilitas menurun karena semakin banyak kadar PET membuat aspal semakin getas. Nilai titik lembek meningkat seiring bertambahnya kadar PET karena penambahan PET meningkatkan kandungan lilin pada aspal. Nilai IKS pada campuran PET memenuhi standar Bina Marga minimal sebesar 90%. Hal tersebut menunjukkan semakin besar persentase campuran PET maka semakin besar nilai IKS. Semakin besar persentase campuran PET maka semakin besar penurunan Nilai IDP. Semakin tinggi persentase campuran PET maka kehilangan kekuatan pada Nilai IDK semakin kecil. Semakin lama waktu perendaman dan semakin banyak campuran PET dalam campuran, maka campuran beraspal mengalami kenaikan stabilitas dan kinerja yang semakin kecil. Durabilitas terbaik ditinjau dari nilai IKS, IDP dan IDK terjadi pada campuran aspal penetrasi 60/70 AC-BC dengan campuran PET 4%.

Kata kunci : aspal, *polyethylene terephthalate*, durabilitas, parameter *Marshall*, indeks kekuatansisa, indeks durabilitas pertama, indeks durabilitas kedua

**DUABILITAS CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC)*
DENGAN LIMBAH PLASTIK *POLIETILENANTEREFALAT (PET)*
SEBAGAI PENAMBAH BAHAN PENGIKAT ASPAL**

Oleh

ANDRYAN WIBISONO

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Program Studi Teknik Sipil

Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

Judul Skripsi

**: DURABILITAS CAMPURAN ASPHALT
CONCRETE - BINDER COURSE (AC-BC)
DENGAN LIMBAH PLASTIK POLIETILENA
TEREFTALAT (PET) SEBAGAI PENAMBAH
BAHAN PENGIKAT ASPAL**

Nama Mahasiswa

: Andryan Wibisono

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011091

Jurusan

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik



Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002

Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T.
NIP 19710724 200003 1 001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil

Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001

Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Sasana Putra, S.T., M.T.**

Sekretaris : **Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T.**

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **05 Desember 2023**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andryan Wibisono
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011091
Judul Skripsi : Durabilitas Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* Dengan Limbah *Polietilena Tereftalat (PET)* Sebagai Penambah Bahan Pengikat Aspal
Jurusan : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 05 Desember 2023
Penulis,



Andryan Wibisono

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Lampung pada tanggal 06 November 2000, merupakan anak Pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Firmansyah dan Ibu Rispa. Penulis memiliki dua orang saudara, yaitu adik pertama Laki-Laki yang bernama Tinton Hermawan, adik yang kedua laki-laki yang bernama Muhammad Gunawan. Penulis memulai jenjang pendidikan tingkat dasar di SD N 2 Palapa, kota Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2012,

lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP N 10 Kota Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2015, dan dilanjutkan menempuh pendidikan tingkat atas di SMA N 3 Bandar Lampung.

Penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2018. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Kaderisasi 2019-2020, kemudian pada periode 2020-2022 penulis menjadi Anggota Departemen Hubungan Luar Periode 2020-2022.

Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Desa Sukajawa, Kecamatan Tanjung Karang Barat, Kota Bandar Lampung selama 40 hari, Februari-Maret 2021. Di tahun yang sama, penulis juga telah melakukan kerja praktik di Proyek Hotel Yellow, Bandar Lampung selama 3 bulan. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Durabilitas Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* Dengan Limbah *Polietilena Tereftalat (PET)* Sebagai Penambah Bahan Pengikat Aspal”.

Persembahan

Alhamdulillahirobbilalamin

Puji dan syukur tercurahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala

Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu

Alaihi Wasallam.

Karya ini dipersembahkan kepada:

Ayah, Ibu, Adek Tinton, Adek Gunawan, Atu Ela, Papi, Pakde dan Bude

Yang senantiasa memberikan dan melantunkan do'a. Terima kasih sebesar-besarnya karena telah mendidik dengan kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang belum bisa terbalaskan.

Sasana Putra S.T., M.T.

dan

Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T.

Yang sangat berjasa dan selalu memberikan ilmu dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

Motto

“Be Brave and Fearless To Know That Even If You Do Make a Wrong Decision,
You`re Making It, For Good Reason.”

(Adele)

“There Are No Regrets In Life. Just Lessons.”

(Will Smith)

“Confident People Have a Way Of Carrying Themselves That Makes Others
More Attracted To Them.”

(Sofia Vergara)

"Orang Yang Hebat Adalah Orang Yang Memiliki Kemampuan
Menyembunyikan Kesusahan, Sehingga Orang Lain Mengira Bahwa Ia Selalu
Senang."

(Ali bin Abi Thalib)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugerah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Durabilitas Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) Dengan Limbah Polietilena Tereftalat (PET) Sebagai Penambah Bahan Pengikat Aspal”**. dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, dan pertolongan yang tiada henti, serta senantiasa memberikan berkah ilmu kepada setiap hamba-Nya.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Bapak Sasana Putra S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan ilmu pengetahuan, saran, kritik, semangat dan bimbingan dalam penelitian ini.
6. Bapak Ir. Tas`an Junaedi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang sudah memberikan banyak ilmu pengetahuan, saran, kritik, serta semangat dalam membimbing penelitian ini.
7. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingan dalam akademik.
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis, serta seluruh karyawan jurusan atas

bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

9. Ayah, Ibu, Adek Tinton, Adek Gunawan, Papi, Pakde dan Bude yang selalu mendukung dan memberikan do'a terbaik.
10. kepada Nabila Diandra Septiani (Atu Ela) terimakasih telah menjadi sosok rumah selama ini yang saya cari. Telah berkontribusi banyak dalam penulisan skripsi ini, yang selalu menemani, mendoakan, semangat dan selalu support mendengarkan keluh kesa penulis dalam kondisi suka maupun duka. Terimakasih telah menjadi bagian perjalanan saya hingga sekarang ini.
11. Team Laboratorium (Rafly, Ebi, dan Nurul) yang selalu membantu dan menemani selalu penulis dalam pengerjaan skripsi ini dan juga selalu menemani penulis dalam keadaan suka maupun duka.
12. PT. 7 Naga (Alex, Kecer, Kentung, Ebi, Tatan, dan Sokli) yang selalu membantu dan menemani berbagai suka dan duka di lika liku kehidupan kampus , hingga bisa merubah membuat kampus yang berubah menjadi lebih baik untuk generasi selanjutnya.
13. Terima kasih kepada teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2018 (L18AS) yang telah sama sama berjuang, maaf jika penulis tidak bias menyebutkan satu-persatu.

Jika skripsi ini masih banyak kekurangan, baik dari isi maupun cara penyampaiannya. Penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, diharapkan agar skripsi ini dapat memberikan ilmu baru dan membawa manfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 05 Desember 2023
Penulis,

Andryan Wibisono

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Campuran <i>Asphalt</i>	5
2.1.1. Aspal.....	5
2.1.2. Agregat Kasar	8
2.1.3. Agregat Halus	8
2.1.4. <i>Filler</i>	8
2.2. Gradasi Agregat Aspal AC-BC	10
2.3. Plastik	13
2.4. Pengujian Aspal AC-BC Metode Marshall Pada Pengujian Campuran Beraspal.....	14
2.4.1. <i>Marshall Test</i>	16
2.4.2. Durabilitas	16
2.4.3. Densitas	17
2.4.4. Aspal.....	17
2.4.5. Metode Penelitian	19
2.4.6. Rumus Durabilitas	22
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	26
3.2. Lokasi Penelitian	27
3.3. Bahan – Bahan Penelitian.....	27
3.4. Peralatan Penelitian	28
3.5. Prosedur Penelitian	30

3.5.1. Studi Literatur	30
3.5.2. Persiapan Material Penelitian	30
3.5.3. Pengujian Bahan	30
3.6. Perancangan Campuran Benda Uji	32
3.6.1. Perancangan Gradasi Agregat	32
3.6.2. Perancangan Kadar Aspal Optimum (KAO)	33
3.6.3. Jumlah Benda uji	34
3.7. Pembuatan Benda uji	35
3.8. Pengujian menggunakan alat <i>Marshall</i>	37
3.9. Pengolahan dan Pembahasan Hasil	38

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Aspal	39
4.2. Pengujian Agregat	41
4.2.1. Hasil Pengujian Agregat	41
4.3. Hasil Pengujian Marshall Campuran PET AC-BC untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum.....	45
4.3.1. Pengaruh Penambahan PET Terhadap Stabilitas Campuran.	46
4.3.2. Pengaruh Penambahan PET Terhadap Kelelehan (flow)	47
4.3.3. Pengaruh Penambahan PET Terhadap <i>Marshall</i> <i>Quotient</i> (MQ)	48
4.3.4. Pengaruh Penambahan PET Terhadap VIM, VMA, dan VFA	50
4.4. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	52
4.5. Hasil Pengujian Durabilitas	54
4.5.1. Pengaruh Penambahan PET Terhadap Indeks Kekuatan Sisa (IKS)	55
4.5.2. Pengaruh Penambahan PET Terhadap Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	60
4.5.3. Pengaruh Penambahan PET Terhadap Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	63

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	67
5.2 . Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Tipikal Macam – Macam Agregat	11
3.1. Diagram Alir Penelitian	26
3.2. Lanjutan Diagram Alir Penelitian.....	27
3.3. Grafik Rencana Gradasi Agregat.....	33
4.1. Grafik stabilitas terhadap penambahan PET 0%, 1% 2%, 3%, 4% dan 5%	47
4.2. Grafik Flow terhadap penambahan PET 0%, 1% 2%, 3%, 4% dan 5%	48
4.3. Grafik MQ terhadap penambahan PET PET 0%, 1% 2%, 3%, 4% dan 5%	49
4.4. Grafik VIM terhadap penambahan PET PET 0%, 1% 2%, 3%, 4% dan 5%	50
4.5. Grafik VMA terhadap penambahan PET PET 0%, 1% 2%, 3%, 4% dan 5%	51
4.6. Grafik VFA terhadap penambahan PET PET 0%, 1% 2%, 3%, 4% dan 5%	51
4.7. Grafik Gabungan Kurva hubungan penambahan PET dengan Nilai Stabilitas (Kg).....	57
4.8. Grafik Gabnungan Kurva hubungan penambahan PET dengan Persen Sisa Stabilitas (Kg)	58
4.9. Grafik hubungan penambahan PET dengan Indeks Kekuatan Sisa (IKS)	59
4.10. Grafik Gabnungan Kurva hubungan penambahan PET dengan Nilai r pada Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	61
4.11. Grafik Gabnungan Kurva hubungan penambahan PET dengan Nilai R pada Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	62
4.12. Grafik Gabnungan Kurva hubungan penambahan PET dengan Nilai a pada Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	66
4.13. Grafik Gabnungan Kurva hubungan penambahan PET dengan Nilai Sa pada Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi	6
2.2. Ketentuan Agregat Kasar	8
2.3. Ketentuan Agregat Halus	9
2.4. Ketentuan <i>Filler</i>	9
2.5. Gradasi Agregat Campuran Aspal AC-BC	9
2.6. Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal	13
2.7. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)	15
2.8. Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70 (Kementerian Pekerjaan dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).	18
3.1. Standar Pemeriksaan Agregat	31
3.2. Standar Pengujian Aspal	32
3.3. Rencana Gradasi Agregat	32
3.4. Jumlah Benda Uji Untuk Mencari KAO	34
3.5. Variasi Rendaman	34
4.1. Hasil Pengujian Aspal	39
4.2. Hasil Pengujian Agregat	41
4.3. Tabel Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus	44
4.4. Tabel Rekapitulasi Nilai Parameter Marshall dengan campuran PET ...	45
4.5. Kadar Aspal Optimum	52
4.6. Hasil Pengujian Durabilitas Aspal AC-BC dengan Campuran PET	54
4.7. Hasil Pengujian Indeks Kekuatan Sisa (IKS)	55
4.8. Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama r (IDP)	60
4.9. Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama R (IDP)	60
4.10. Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Kedua a (IDK)	63
4.11. Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Kedua Sa (IDK)	63
4.12. Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Kedua A (IDK)	64
4.13. Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Kedua SA (IDK)	64

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Kerusakan jalan memang menjadi salah satu masalah di Indonesia yang seringkali terjadi terutama di jalan-jalan dengan volume lalu lintas yang padat, berupa retak leleh dan deformasi. Kerusakan jalan disebabkan karena berlebihnya volume kendaraan berat yang melewati sehingga beban kendaraan yang berat ini mengakibatkan di setiap lapisan perkerasan terjadiregangangan dan tegangan. Untuk menaikkan mutu campuran beraspal, salah satunya dengan menambahkan plastik. Menurut Sumadilaga (2017), bahwa teknologi campuran beraspal dengan memanfaatkan limbah plastik merupakan campuran beraspal yang memiliki sifat tahan terhadap deformasi dan lebih baik dalam ketahanan leleh (*fatigue*), kendaraan tidak mudah slip saat aspal dalam keadaan basah ataupun kering, deformasi atau alur meningkat, serta tidak mudah retak retak.

Diantara dari jenis sampah plastik dengan tingkat daur ulang paling tinggi yaitu plastik *polyethylene terephthalate* (PET) sekitar 23%. Salah satu pemanfaatan dari limbah plastik PET ini ialah dengan memanfaatkannya dalam bidang konstruksi, khususnya konstruksi jalan raya dengan menjadikan limbah plastik PET sebagai bahan campuran pada aspal. Asrar, Y.D. (2007) dalam tesisnya menyimpulkan bahwa penambahan plastik dalam aspal akan memberikan pengaruh yang baik terhadap aspal dan juga sebagai bahan yang kuat untuk dicampurkan sebagai bahan pelekak tambahan pada aspal.

Menurut Hendrastianto (2019), Sampah plastik dapat menjadi bergunakembali setelah didaur ulang. Adapun biji plastik pp disebut juga dengan (*polypropylene*), adalah biji plastik yang terbuat dari monomer propilena

yang memiliki sifat kaku, tidak berbau, dan tahan terhadap bahan kimia pelarut, asam, dan basa. Proses daur ulang limbah plastik menjadi biji plastik (*pellet*).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh durabilitas ketahanan dan kekuatan campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) dengan limbah plastik *Polietilenantereftalat* (PET) sebagai penambah bahan pengikat pada aspal terhadap parameter marshall.

I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah Penambahan dengan limbah plastik memberikan pengaruh terhadap karakteristik marshall pada campuran lapis aspal AC-BC (*Asphalt Concrete- Binder Coarse*) dan untuk mengetahui durabilitas pada aspal AC-BC.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh durabilitas dari ketahanan dan kekuatan dari penambahan campuran *Asphalt Concrete- Binder Course* (AC-BC) dengan limbah plastik *Polietilenantereftalat* (PET) sebagai penambah bahan pengikat pada aspal.

I.4. Batasan Penelitian

Berikut adalah batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70
3. Campuran aspal yang digunakan adalah campuran *Asphalt Concrete- Binder Course* (AC-BC) dengan limbah plastik *Polietilenantereftalat* (PET) sebagai penambah bahan pengikat pada aspal.
4. Bahan additive aspal yang digunakan adalah plastik *Polietilenantereftalat* (PET).
5. Uji Marshall standar dengan 2x75 tumbukan
6. Penelitian ini dilakukan dari uji marshall untuk mendapatkan nilai durabilitas campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC) dengan limbah plastik *Polietilenantereftalat* (PET) sebagai penambah bahan pengikat pada aspal.

I.5. Manfaat Penelitian

1. Dapat mengoptimalkan limbah plastik *Polietilenantereftalat* (PET) sebagai bahan additive untuk campuran aspal.
2. Untuk mengetahui perbandingan durabilitas campuran *Asphalt Concrete- Binder Course* (AC-BC) dengan limbah plastik *Polietilenantereftalat* (PET) sebagai penambah bahan pengikat pada aspal.

3. Untuk menambah pengetahuan baru dan juga untuk inovasi baru dalam bidang infrastruktur jalan dengan penggunaan campuran limbah plastik *polietilenantereftalat* (PET) pada campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC).

I.6. Sistematika Penulisan

I. Pendahuluan

Pada bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

II. Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan pembahasan dari teori-teori dan rumus-rumus yang digunakan untuk menunjang penelitian dari berbagai sumber.

III. Metodologi Penelitian

Bab ini akan menjelaskan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data.

IV. Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang pelaksanaan penelitian yang dilakukan mencakup hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan penambahan data berdasarkan hasil yang diperoleh dari teori yang ada.

V. Kesimpulan dan saran

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian ini dan saran. Pada akhir penulisan skripsi ini akan dilampirkan daftar pustaka sebagai referensi penunjang yang digunakan dan lampiran yang

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Campuran Asphalt*

Lapisan beton aspal (AC-BC) adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal yang berfungsi sebagai lapisan penutup dari konstruksi jalan yang harus mampu menjaga kestabilan jalan akibat dari beban kendaraan dan pengaruh cuaca. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (2010), campuran ini terdiri dari atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur dan dihamparkan serta dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

Plastik adalah salah satu bahan yang dapat kita temui di hampir setiap barang, mulai dari botol minuman, plastik laminating, dan lain-lain. Ridhamasdar (2009) mengutip dari Ram adhar singh dari New Delhi, Menjelaskan para peneliti mengungkapkan jika sampah plastik berbahan polythene itu mampu dijadikan bahan konstruksi jalan raya. Konstruksi jalan raya yang menggunakan bahan sampah plastik diperkirakan akan dapat tahan lama dan lebih tahan terhadap gerusan air. Rezza Dan Aschuri, (2009) Menyimpulkan bahwa penambahan sampah plastik pada aspal sebesar 0,5%, 1%, dan 2% dari berat aspal penetrasi 60/80 akan dapat secara signifikan meningkatkan kualitas aspal.

2.1.1. *Aspal*

Menurut SNI 2432-2011, aspal keras adalah aspal yang bersifat viskoelastik baik berupa aspal alam atau aspal modifikasi (aspal yang diberi bahan tambah seperti polimer). Aspal keras dapat dikelompokkan berdasarkan nilai penetrasinya pada temperatur ruang (25°C - 30°C), yaitu: pen 40/50, pen 60/70, pen 85/100, pen 120/150, pen 200-300. Semakin kecil angka penetrasi maka aspal akan semakin keras, semakin susah cara penanganannya karena diperlukan suhu yang lebih tinggi agar aspal dapat menjadi lunak atau cair. Sebaliknya semakin tinggi angka

penetrasi maka aspal akan mudah encer. Di Indonesia aspal yang sering digunakan adalah aspal pen 60/70.

Tabel 2.1. Ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi

	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik > 1,0 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽²⁾	
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D5976-00 Part 6.1 dan	-	≤ 2,2	
10.	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2	-	-
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)					

Tabel 2.1. (Lanjutan) Ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik > 2,2 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000		70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah P AV (SNI 0 3-6837-2002) pada temperatur 100oC dan tekanan 2,1 Mpa					
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik > 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.5 hal 40-41.

Catatan :

1. Pengujian semua sifat-sifat harus dilaksanakan sebagaimana yang disyaratkan pada pasal 6.3.2.6.a. Sedangkan untuk pengendalian mutu lapangan, ketentuan aspal dengan penetrasi ≥ 50 adalah $\pm 4(0,1 \text{ mm})$ dan untuk aspal keras penetrasi < 50 adalah $\pm 2(0,1 \text{ mm})$, masing-masing dari nilai penetrasi yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.
2. Pengujian semua sifat-sifat harus dilaksanakan sebagaimana yang disyaratkan pada pasal 6.3.2.6.a. Sedangkan untuk pengendalian mutu lapangan, ketentuan titik lembek diterima adalah $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ dari nilai titik lembek yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.

2.1.2. Agregat kasar

Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butiran butiran lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm) dan dilakukan pengayakan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

2.1.3. Agregat Halus

Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih halus dari saringan No.4 (4,75 mm). Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar partikel.

2.1.4. Filler

Filler (bahan pengisi) yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SK SNI M-02-1994-03 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (0,074 mm) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya (Bina Marga,2006).

Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%
	magnesium sulfat			Maks. 18%
Abrasi dengan mesin los angeles (1)	Campuran AC	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
	modifikasi dan SMA	500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%

Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI	100/90)
	Lainnya	7619:2012	95/90)
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791-10	Maks. 5%
	Lainnya	perbandinga n 1 : 5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Tabel 2.4. Ketentuan *Filler*

Ukuran Saringan	%Berat yang lolos
No.200 (0,074 mm)	Min. 75%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal AC-BC yang dikutip dari Anonim (2010) disajikan pada tabel 2.5. dibawah ini.

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Campuran Aspal AC-BC

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos AC-BC	
ASTM	(mm)	Gradasi Halus	Gradasi Kasar ¹
1"	25	100	100

3/4"	19	90 – 100	90 - 100
1/2"	12,5	74 – 90	71 - 90
3/8"	9,5	64 – 82	58 – 80
No. 4	4,75	47 – 64	37 - 56
No.8	2,36	34,6 – 49	23 - 34,6
No. 16	1,18	28,3 – 38	15 - 22,3
No. 30	0,6	20,7- 28	10 - 16,7
No. 50	0,3	13,7- 20	7 - 13,7
No. 100	0,15	4 – 13	5 – 11
No. 200	0,075	4 – 8	4 - 8

Sumber :Anonim (2010)

2.2 Gradasi Agregat Aspal AC-BC

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen (Silvia 2003). Sedangkan Gradasi merupakan distribusi partikel agregat yang berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu (I Gusti, 2015). Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan kemudahan pengerjaan dan stabilitas campuran. Gradasi agregat ditentukan oleh 12amper12 saringan, dimana contoh agregat harus melalui satu set saringan. Gradasi agregat memiliki satuan dalam persentase tertahan ataupun persentase lolos yang dihitung dari berat agregat (Juharni, Rudi, 2015). Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan. Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

a) Gradasi Seragam (*Uniform Graded*) atau Gradasi Terbuka

Adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit

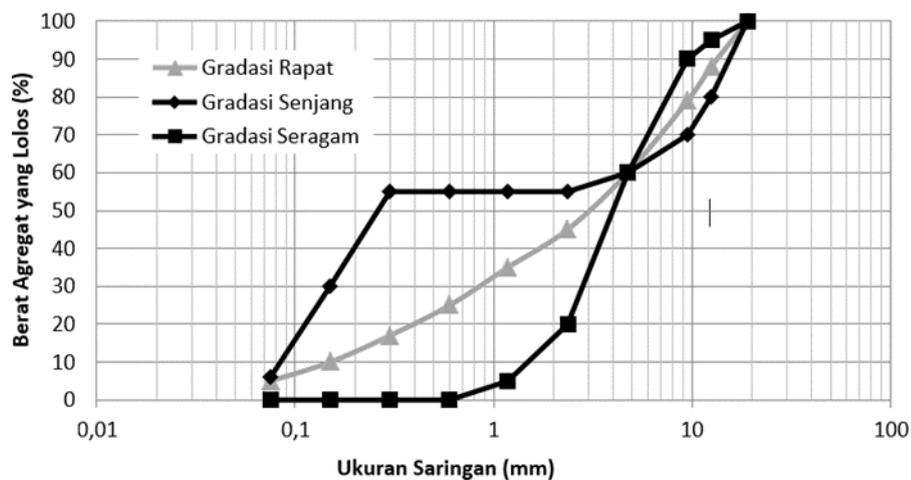
agregat halus, sehingga terdapat banyak rongga/ruangkosong antar agregat. Agregat dengan gradasi seragam menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang dan berat volume kecil.

b) Gradasi Rapat (*Dense Graded*) atau Gradasi Baik (*Well Graded*)

Merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang dan akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi.

c) Gradasi Buruk (*Poorly Graded*) atau Gradasi Senjang

Adalah campuran agregat yang tidak memenuhi dua kategori diatas. Agregat dengan gradasi buruk yang umum digunakan yaitu gradasi celah (*gap graded*) yang merupakan campuran agregat dengan satu fraksi sedikit sekali.



Gambar 2.1. Tipikal macam-macam Agregat

Bukhari (2007) menyebutkan gradasi adalah distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat yang saling mengisi sehingga terjadinya suatu ikatan yang saling mengunci (*interlocking*). Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase berat masing-masing contoh yang lolos pada saringan tertentu. Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan. (Buku 1: Petunjuk umum, Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas). Sifat-sifat campuran

seperti stabilitas, kekakuan, kemudahan kerja, permeabilitas, keawetan, ketahanan terhadap kelelahan, tahanan gelincir, dan ketahanan terhadap air sangat dipengaruhi oleh gradasi agregat (Roberts et al., 1991). Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Agregat campuran yang terdiri dari agregat berukuran sama akan berongga atau berpori banyak, karena tidak terdapat agregat berukuran lebih kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi. Campuran agregat bergradasi atas mempunyai kinerja lebih baik daripada bergradasi bawah dalam menahan beban dan deformasi. Mengurangi persentase rongga dengan mengubah gradasi dapat dilakukan, untuk menambah kelenturan dan mengurangi deformasi. Tapi disisi lain dapat menurunkan kuat tekannya. (Golalipour, dkk., 2012). Gradasi agregat memiliki satuan dalam persentase tertahan ataupun persentase lolos yang dihitung dari berat agregat (Juharni, Rudi, 2015). Gradasi terdiri dari tiga jenis, yaitu :

- a) Gradasi seragam (uniform graded) atau gradasi terbuka, agregat hanya terdiri dari butir-butir berukuran sama atau hamper sama. Campuran agregat ini mempunyai pori antar agregat yang cukup besar.
- b) Gradasi rapat/menerus (dense graded), agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir. Campuran agregat ini mempunyai pori yang sedikit mudah untuk dipadatkan.
- c) Gradasi senjang (poorly graded), agregat yang terdistribusi ukuran butirnya tidak menerus atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali. Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya dan ukuran butiran agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Satu saringan umumnya terdiri dari saringan berukuran 1 inci, $\frac{3}{4}$ inci, $\frac{1}{2}$ inci, $\frac{3}{8}$ inci, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100 dan No.200. (Sukirman, 2003). Gradasi yang 13 digunakan untuk lapis AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) dapat dilihat pada tabel 2.6 dibawah ini :

Tabel 2.6. Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat		
		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1 ^{1/2} "	37,5			100
1"	25		100	90-100
^{3/4} "	19	100	90-100	76-90
^{1/2} "	12,5	90-100	75-90	60-78
^{3/8} "	9,5	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	9-22	7-20	6-15
No.100	0,150	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan umum Republik Indonesia, spesifikasi umum umum 2018 Divisi 6 tabel 6.3.2.3 hal 39.

2.3 Plastik

Plastik adalah suatu polimer yang memiliki sifat-sifat unik dan luar biasa (Mujiarto, 2005). Polimer merupakan bahan yang disusun dari unit molekul yang disebut monomer. Untuk polimer yang disusun dari monomer sejenis disebut homopolimer dan polimer yang disusun dari monomer yang berbeda disebut kopolimer. Plastik dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu:

a. Plastik *Thermoplast*

Plastik jenis ini merupakan plastik yang dapat didaur ulang atau dicetak berkali kali dengan adanya panas. Yang termasuk plastik jenis ini antara lain PP, PET,

PC, ABS dan lain-lain.

b. Plastik *Thermoset*

Plastik jenis ini merupakan plastik yang tidak bisa didaur ulang apabila sudah mengalami kondisi tertentu karena bangun polimernya berbentuk jaringan 3 dimensi. Yang termasuk plastik jenis ini adalah polyester, epoksi, dan lain-lain.

Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan tipe plastik lunak bersifat jernih dan transparan, tipe plastik terbaik untuk digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman, melunak pada suhu 180C dan mencair dengan sempurna pada suhu 200C. Berdasarkan karakteristik yang dimiliki oleh plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) pengolahan yang paling tepat adalah dengan teknik pemanasan karena tipe plastik ini dapat dibentuk kembali dengan mudah dan diproses menjadi bentuk lain (Okatama, 2016).

Plastik PET memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, transparan, bersifat tidak beracun, dan tidak pengaruh pada rasa dan permeabilitas yang dapat diabaikan untuk karbon dioksida. Plastik PET memiliki kekuatan tarik dan kekuatan impak yang sangat baik, begitu juga dengan ketahanan kimia, *clarity*, *processability*, kemampuan warna dan stabilitas termalnya menurut Irvan (2016).

2.4 Pengujian Aspal AC-BC Metode Marshall Pada Pengujian Campuran Beraspal

Pemeriksaan Marshall Test dimaksudkan untuk menentukan: stabilitas, kelelahan plastis (flow), berat volume (density), persen rongga dalam campuran (VIM), persen rongga terisi aspal (VFB), persen rongga antar butir agregat (VMA), Marshall Quotient (MQ), yaitu sebuah gambaran kekakuan yang merupakan ukuran ketahanan benda uji terhadap deformasi.

Parameter dan spesifikasi Marshall untuk lalu lintas berat dengan menggunakan aspal Pen. 60/70 dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2.7 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston					
		Lapis Aus		Lapis Antara		Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif (%)		5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan aspal (%)	Maks.				1,2		
Jumlah tumbukan per bidang				75		112 ⁽¹⁾	
Rongga dalam campuran (%)	Min.				3,5		
	Maks.				5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.				800		1800 ⁽¹⁾
	Maks.				-		-
Pelelehan (mm)	Min.				3		4,5 ⁽¹⁾
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.				250		300
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽³⁾	Min.			90			
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.				2,5		
Stabilitas dinamis, Lintasan/mm	Min.				2500		

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2010)

2.4.1. *Marshall Test*

Uji *Marshall* dilakukan untuk menentukan stabilitas, *flow*, dan *Marshall quotient*. Angka-angka stabilitas benda uji didapat dari pembacaan alat tekan *Marshall*. Angka stabilitas ini masih dikoreksi lagi dengan kalibrasi alat dan ketebalan benda uji. Angka *flow* dibaca dari pembacaan arloji yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan panjang (mm). *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi dari stabilitas dan *flow*, yang nilainya merupakan indikator dari kelenturan yang potensial terhadap keretakan.

2.4.2. Durabilitas

Durabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan dalam mempertahankan diri dari kerusakan yang terjadi selama umur rencana. Kerusakan dapat terjadi karena pengaruh lalu lintas serta pengaruh buruk dari lingkungan dan iklim (cuaca, air, dan temperatur).

Faktor yang mempengaruhi durabilitas adalah :

- Film aspal atau selimut aspal, lapis aspal yang berdurabilitas tinggi dapat dihasilkan oleh film aspal yang tinggi, tetapi memungkinkan terjadi *bleeding* yang bertambah tinggi.
- *Void In Mix* (VIM) kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh.
- *Void in Material* (VMA) besar, sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadi *bleeding* besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.

2.4.3. Densitas

Densitas menunjukkan kepadatan pada campuran perkerasan. Gradasi agregat, kadar aspal dan pemadatan akan mempengaruhi tingkat kepadatan perkerasan lentur. Semakin tinggi kepadatan aspal porus, maka nilai stabilitasnya semakin tinggi.

2.4.4. Aspal

Aspal merupakan bahan yang plastis yang dengan kelenturannya mudah diawasi untuk dicampur dengan agregat. Lebih jauh lagi, aspal sangat tahan terhadap asam, alkali, dan garam-garaman. (Hendarsin, Shirley L, 2000). Aspal merupakan senyawa hidrokarbon. Struktur molekul aspal sangatlah kompleks yang merupakan koordinasi dari 3 (tiga) jenis struktur dasar molekul hidrokarbon, yaitu alifatik, siklis dan aromatis. Struktur alifatik berbentuk linier, ataupun tiga dimensi. Struktur molekul ini menyebabkan aspal kelihatan seperti minyak ataupun lilin (wax).

Struktur molekul siklis adalah ikatan/rantai karbon jenuh tiga dimensi yang mampu mengikat beberapa unsur ataupun radikal. Sedangkan struktur molekul ini memberikan bau yang khas pada aspal. Ikatan kimia (inter molecular bonding) pada aspal sangatlah mudah terlepas dan aspal akan mencair (Suhwadi dan Suhardjo Poertadji. (2005) dalam Awaludin, 2008). Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitumen. Sukirman (2003) menyebutkan bahwa aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume.

Aspal biasanya berasal dari destilasi dari minyak mentah, namun aspal ditemukan juga sebagai bahan alam (misal : asbuton), dimana sering juga disebut mineral (Shell Bitumen, 1990). Fungsi aspal adalah sebagai bahan pengikat dengan butiran

agregat dan sebagai bahan pengisi, mengisi rongga antar butir dan pori-pori agregat itu sendiri (Saodang, 2005). Material Aspal berwarna coklat tua sampai hitam dan bersifat melekat, berbentuk padat atau semi padat yang didapat dari alam dengan penyulingan minyak.(Kreb,RD & Walker, RD.,1971). Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa yang kompleks seperti Asphaltenes, resin dan oil. Asphaltenes material susunan pembentuk dari aspal dan resin mempengaruhi dari sifat-sifat adesi dan daktilitas, oils berpengaruh terhadap viskositas dan flow (Hunter RN, 1994). Aspal keras dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Aspal untuk lapis beton harus memenuhi beberapa syarat sebagaimana tercantum pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70 (Kementerian Pekerjaan dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan Pen.60/70
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
2.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-
3.	Vikositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 323
7.	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$
9.	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-

2.4.5. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimen dimana akan dilakukan percobaan yang akan menghasilkan data. Pada tahap pengujian akan digunakan metode *marshall* yang memiliki beberapa Hasil Pengujian Data *marshall*, antara lain :

1. Stabilitas

Stabilitas (*Stability*) adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kilogram atau pond. Nilai stabilitas diperoleh langsung pada alat *marshall test* dengan pembacaan arloji stabilitas yang kemudian dikalibrasi dengan *proving ring* dan dikoreksi dengan faktor koreksi volume benda uji.

$$S = p \times q$$

Keterangan :

S = angka stabilitas (kg),

P = pembacaan arloji x kalibrasi *proving test* (kg),

q = angka koreksi tebal benda uji

2. Kelelahan

Kelelahan atau *flow* adalah perubahan bentuk plastis suatu campuran aspal yang terjadi akibat beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm. Nilai flow diperoleh dengan pembacaan langsung jarum *Proving Ring* pada alat uji *Marshall*.

3. Rongga Dalam Campuran

Voids In Mix (VIM) atau disebut juga rongga dalam campuran digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen. Rongga udara yang dihasilkan ditentukan oleh susunan partikel agregat dalam campuran serta ketidakseragaman bentuk agregat. Rongga udara merupakan indikator durabilitas

campuran beraspal sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Nilai VIM yang lebih dari ketentuan akan mengakibatkan berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{Berat } B.U}{Bj.Maksimum \text{ Teoritis}} \dots\dots\dots(1)$$

Berat jenis maksimum teoritis:

$$BJ = \frac{100}{\frac{\% \text{ agr}}{BJ.agr} + \frac{\% \text{ aspal}}{BJ.aspal}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

B.J Teoritis : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan(gr/cc).

4. Rongga dalam Agregat

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat dari suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, termasuk didalamnya rongga udara dan rongga yang terisi aspal efektif yang dinyatakan dalam persen volume. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kedap air campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas. Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimum 15 %. Nilai VMA dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$VMA = 100 - \frac{(100 - \% \text{ aspal}) \times \text{Berat Volume B.u}}{Bj. Agregat} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)
 % Aspal : Kadar aspal terhadap campuran (%)
 B.J. Agregat : Berat jenis efektif

5. Rongga Terisi oleh Aspal

Rongga terisi oleh aspal atau *Void Filled with Bitumen* (VFA) merupakan persentase rongga yang terdapat diantara partikel agregat VMA yang terisi oleh aspal. Persentase rongga campuran yang berisi aspal nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu. Artinya rongga dalam campuran telah terisi penuh oleh aspal, maka persen kadar aspal yang mengisi rongga adalah persen kadar aspal maksimum.

6. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient adalah nilai pendekatan yang hampir menunjukkan nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban. Nilai MQ diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas yang telah dikoreksi terhadap nilai *flow* dengan persamaan berikut.

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

MQ : *Marshall Quotient* (kg/mm)

S : Nilai Stabilitas Terkoreksi (kg)

F : Nilai *Flow* (mm)

2.4.6. Rumus Durabilitas

a) Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

IKS (Indeks Kekuatan Sisa) atau IRS (*Index Retained Stability*) diperoleh melalui pengujian terhadap sifat mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) yang dibagi menjadi dua kelompok yaitu diuji stabilitas *Marshall*-nya setelah perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T1 dan diuji setelah perendaman pada suhu 60°C selama waktu T2. Dari kedua perendaman tersebut didapat nilai stabilitas *Marshall*, ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) *Marshall* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$IKS = \frac{S_1}{S_2} \times 100\% \geq 90\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

S1 = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T1 (Kg)

S2 = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T2 (Kg)

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

Nilai IKS yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah minimum 90%. Nilai tersebut menandakan bahwa campuran aspal masih dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh air.

a) Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$r = \sum_{i=0} \frac{s_i - (s_{i+1})}{t_{i+1} - t} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

r = Indeks Penurunan Stabilitas (%)

S_{i+1} = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%)

S_i = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%)

t_i , t_{i+1} = Periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)

Nilai 'r' yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan sedangkan nilai 'r' bernilai negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan. Indeks daya tahan pertama dapat dijelaskan sehubungan dengan nilai absolut dari kehilangan bobot dalam kekuatan (R) .

b) Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Menurut Craus *et al* mendefinisikan indeks daya tahan kedua (a) sebagai rata-rata area kekuatan tertutup antara kurva daya tahan dan garis $S_0=100\%$ menggunakan Persamaan (3). Indeks IDK dapat didefinisikan sebagai persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (sa), nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan (A), nilai absolut kekuatan sisa (SA) berturut-turut pada rumus (4),(5),(6) sebagai berikut:

$$a = \frac{1}{tn} \sum_{i=1}^n a \text{ atau } = \frac{1}{2tn} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) (2tn - (t_i + t_{i+1})) \dots (3)$$

Keterangan:

S_{i+1} = Persentase kekuatan sisa pada waktu

$t_{i+1} S_i$ = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_i

t_{i+1} = Periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)

t_n = Total waktu perendaman

Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari. 'a' bernilai positif menggambarkan kehilangan kekuatan, sedangkan 'a' bernilai negatif menggambarkan penambahan kekuatan.

Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai $a < 100$. Oleh karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari sa sebagai berikut:

$$sa = (100 - a) \dots \dots \dots (4)$$

$$A = \frac{A}{100} \times S_0 \dots \dots \dots (5)$$

$$SA = (S_0 - A) \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

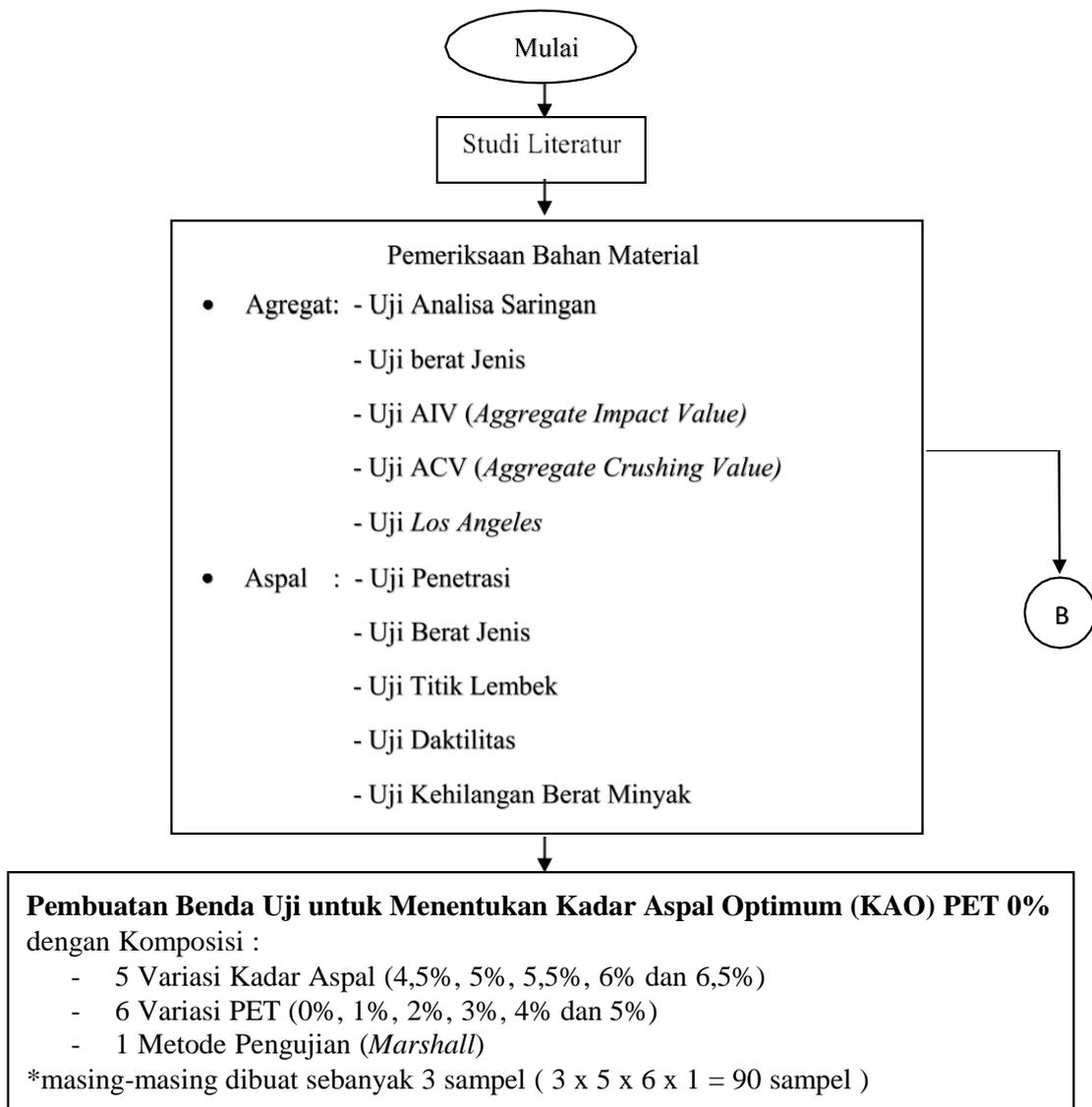
S_0 = Persentase kekuatan awal (%)

A = Nilai absolut kehilangan kekuatan selama satu hari (Kg/Hari)

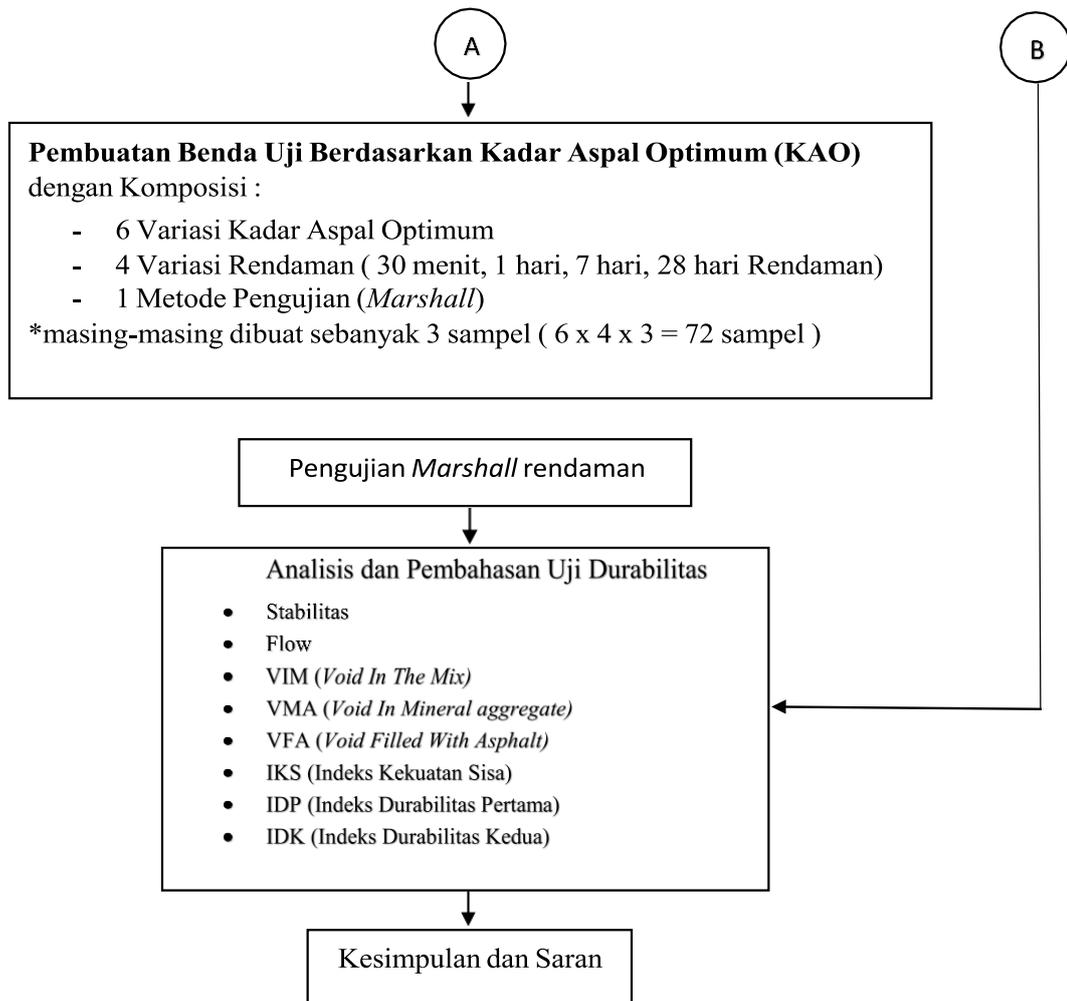
SA = Nilai absolut kekuatan sisa selama satu hari (Kg/Hari)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian.



Gambar 3.2. Lanjutan Diagram alur penelitian.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.3. Bahan – Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Jenis agregat kasar yang digunakan yaitu tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) yang ada di Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

2. Agregat Halus

Agregat halus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm).

3. *Filler* atau material lolos saringan No.200. *Filler* yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batu.
4. Aspal yang digunakan pada penelitian ini aspal keras yaitu aspal dengan penetrasi 60/70.
5. Bahan tambah plastik PET yang sudah dipotong-potong dan dibagi ke dalam beberapa variasi campuran dengan kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dari total berat aspal. Adapun cara penambahannya dilakukan dengan cara basah.

3.4. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu Set Alat Saringan/Ayakan (*Sieve*)

Penggunaan alat saringan digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat menurut ukurannya. Alat Uji Pemeriksaan Agregat Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), alat pengering yaitu oven, timbangan berat, dan alat uji untuk berat

jenis (piknometer, timbangan, pemanas).

2. Alat Uji Durabilitas

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, sebagai berikut:

- a. Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kapal penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flow meter*.
- b. Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 3 inchi (7,5 cm).
- c. Cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm.
- d. *Marshall Automatic Compactor* yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 50 kali tumbukan untuk tiap sisi (atas dan bawah).
- e. *Ejector* untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
- f. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi dengan suhu pengatur.
- g. Alat-alat penunjang yang meliputi penggorengan, pencampur, kompor pemanas, thermometer, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, kainlap, timbangan, ember untuk merendam benda uji, jangka sorong, pan, dan *tipe-x* yang digunakan untuk menandai benda uji.

Peralatan yang digunakan merupakan peralatan standar pembuatan benda uji *Marshall* yang akan dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini dijelaskan sebagaiberikut:

3.5.1. Studi Literatur

Studi literatur digunakan sebagai referensi teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi ini didapatkan dari buku, jurnal, artikel, dan laporan penelitian.

3.5.2. Persiapan Material Penelitian

Pada tahap ini dilakukan proses penyiapan bahan dan pengecekan peralatan yang akan digunakan. Persiapan bahan meliputi agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal penetrasi 60/70, dan bahan tambahan yaitu plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang akan dicacah kecil-kecil dengan ukuran ± 1 cm, dan semua bahan yang dibutuhkan, lalu didatangkan ke Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung untuk dilakukan pengujian dan penelitian.

3.5.3. Pengujian Bahan

Material yang akan digunakan dalam penelitian ini harus diuji terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristik dan sifat material apakah memenuhi standar spesifikasi yang telah ditentukan atau tidak.

1. Agregat kasar, Agregat halus, dan *filler*

Pengujian agregat diperlukan sebagai bahan pengisi pada campuran beraspal dengan komposisi gradasi sesuai dengan gradasi terpakai yang memenuhi spesifikasi yang ada. Pada agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, dan penyerapan. Standar pengujian agregat ini mengacu pada peraturan jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6.

Tabel 3.1 Standar Pemeriksaan Agregat

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990
2	Berat Jenis (Berat jenis bulk, Berat jenis SSD dan Berat jenis semu) dan Penyerapan agregat halus	SNI 03-1970-1990
3	Berat Jenis (Berat jenis bulk, Berat jenis SSD dan Berat jenis semu) dan Penyerapan agregat kasar	SNI 03-1969-1990
4	Los Angeles Test	SNI 03-2417-2008
5	Aggregate Impact Value Test (AIV)	BS 812: Part 3: 1975
6	Aggregate Crushing Value Test (AIV)	BS 812: Part 3: 1975

Sumber: Direktorat jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6.

2. Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian aspal dilakukan dengan melakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat. Standar pengujian aspal mengacu pada peraturan direktorat jenderal binamarga departemen pekerjaan umum Republik Indonesia, spesifikasi umum 2018 divisi 6.

Tabel 3.2 Standar Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Penetrasi 25°C (mm)	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991
3	Berat jenis	SNI 06-2441-1991
4	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991
5	Daktilitas pada 25° (cm)	SNI 06-2432-1991

Sumber: Direktorat jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6.

3.6. Perancangan Campuran Benda Uji

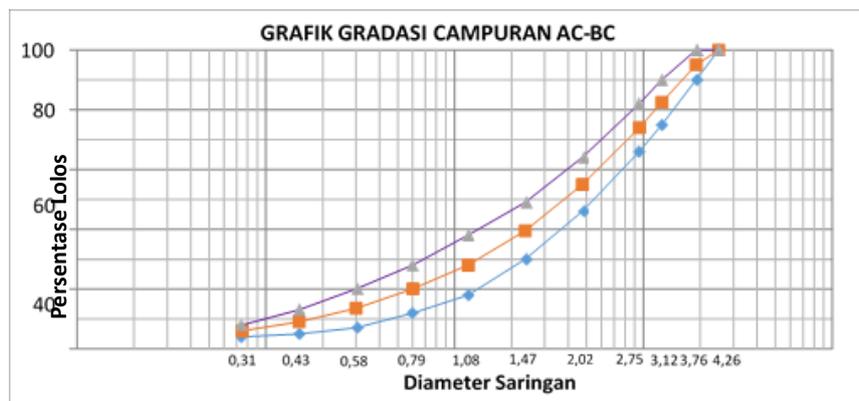
3.6.1. Perancangan Gradasi Agregat

Adapun rencana gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.3 di bawah ini:

Tabel 3.3 Rencana Gradasi Agregat.

Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi %		% Berat yang Lolos	% Berat yang Tertahan
	Berat (Bina Marga, 2018)	Lolos		
25,000	100		100	0,00
19,000	90-100		95	5,00
12,500	75 – 90		82,5	12,50
9,500	66 – 82		74	8,50
4,750	46 – 64		55	19,00
2,360	30 – 49		39,5	15,50

1,180	18 – 38	28	11,50
0,600	12 – 28	20	8,00
0,300	7 – 20	13,5	6,50
0,150	5 – 13	9	4,50
0,075	4 – 8	6	3,00
Pan			6
Total			100



Gambar 3.3. Grafik Rencana Gradasi Agregat

3.6.2. Perancangan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Perancangan Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilakukan setelah melakukan pemilihan dan penggabungan pada tiga fraksi agregat. Untuk menghitung kadar aspal optimum dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + K \\
 &= 0,035 (45) + 0,045 (49) + 0,18 (6) + 0,75 \\
 &= 5,61\%
 \end{aligned}$$

Dimana :

P_b = Kadar aspal tengah

CA = Kumulatif persen agregat kasar tertahan saringan ukuran 37,5 mm sampai dengan saringan ukuran 4,75 mm

FA = Kumulatif persen agregat halus lolos saringan 2,36 mm

sampai dengan saringan ukuran No. 200

Filler = Bahan pengisi yang lolos saringan No. 200

K = Konstanta dengan nilai 0,5-1,0 untuk Laston dan 2,0-3,0 untuk laston AC-BC

Nilai kadar aspal tengah (Pb) yang diperoleh dari hasil perhitungan diatas yang sudah dibulatkan adalah 5,5 %. Pada penelitian ini akan digunakan 5 variasi kadar aspal dengan cara menentukannya ialah Pb-1%, Pb-0,5%, Pb, Pb+0,5%, Pb + 1% sehingga variasi yang didapat antara lain 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%. Dan selanjutnya setelah mendapat Kadar Aspal Optimum dilakukan penambahan plastik PET dengan kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%.

3.6.3 Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji pada penelitian ini dibuat berdasarkan kebutuhan untuk mencari KAO dan kebutuhan benda uji berdasarkan KAO yang didapat dengan penambahan variasi PET pada Tabel di bawah ini:

Tabel 3.4 Jumlah Benda Uji Untuk Mencari KAO

Variasi Kadar Aspal (%)	Variasi Campuran PET (%)						Jumlah
	0%	1%	2%	3%	4%	5%	
4,5%	3	3	3	3	3	3	18
5%	3	3	3	3	3	3	18
5,5%	3	3	3	3	3	3	18
6%	3	3	3	3	3	3	18
6,5%	3	3	3	3	3	3	18
Total	90						

Tabel 3.5. Variasi Rendaman

Variasi Rendaman	Jumlah Benda Uji
30 menit	3
1 Hari	3
7 Hari	3
28 Hari	3

Untuk mencari KAO, terdapat 5 variasi campuran aspal dan juga terdapat 6 variasi kadar bahan tambah PET dan setiap variasi. dibuat sebanyak 3 sampel ($5 \times 6 \times 3 = 90$) sehingga jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk mencari KAO adalah sebanyak 90 buah. Setelah mendapatkan KAO dilakukan perendaman dimana terdapat empat variasi rendaman dan dibutuhkan masing masing 3 sampel ($3 \times 4 \times 6 = 72$) sehingga jumlah benda uji yang dibutuhkan sebanyak 72 buah. Total jumlah benda uji yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebanyak $90 \text{ buah} + 72 \text{ buah} = 162 \text{ buah}$.

3.7. Pembuatan Benda Uji

1. Benda Uji *Marshall*

Tahap-tahap dari pembuatan benda uji untuk uji *Marshall* yaitu sebagai berikut:

- a. Menimbang agregat berdasarkan persentase agregat campuran yang sudah dihitung, kemudian benda uji dibuat sebanyak tiga buah pada masing-masing setiap variasi Kadar Aspal.
- b. Lalu masukan agregat kedalam oven selama ± 4 jam sehingga didapatkan berat kering dan menghitung kembali kadar aspal sesuai dengan berat agregat yang sudah dimasukkan kedalam oven.

- c. Mencampurkan agregat sesuai perencanaan dengan berat total agregat masing-masing benda uji.
- d. Sebelum dilakukan pemadatan, cetakan yang akan digunakan dipanaskan terlebih dahulu untuk mencegah adanya penurunan suhu yang terlalu signifikan pada sampel. Cetakan yang digunakan berbentuk silinder dengan tinggi standar 6,35 cm dan diameter 10,16 cm.
- e. Memasukkan campuran kedalam cetakan per 1/3 dan 1/2 tinggi cetakan kemudian memadatkannya dengan alat *compactor* terhadap sampel sebanyak 2 x 75 tumbukan dengan suhu 150°C. Setelah itu benda uji didiamkan selama kurang lebih 24 jam agar suhu pada benda uji menurun, kemudian benda uji dikeluarkan menggunakan *ejector* dan diberi kode sampel sesuai dengan jenis sampel, hal tersebut untuk memudahkan mengenali jenis sampel pada saat pengujian.
- f. Lalu benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,1 mm di ketiga sisi benda uji dan ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- g. Merendam benda uji dalam bak air selama 30 menit untuk mengetahui kadar penyerapan air.
- h. Setelah itu menimbang benda uji dalam air untuk mengetahui berat jenuh pada masing-masing sampel.

- i. Setelah menimbang berat jenuh, kemudian benda uji dikeringkan menggunakan kain lap sehingga didapatkan benda uji kering permukaan dan menimbang benda uji menggunakan ketelitian 0,1 gr lalu didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh atau SSD (*Saturated Surface Dry*).

3.8. Pengujian menggunakan alat *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) pada campuran beraspal yang mengacu pada SNI 06-2489-1991 dan akan dilakukan pengujian sesuai dengan kondisi cuaca di Indonesia yang mempunyai dua musim yaitu musim panas dan musim penghujan, pengujian akan disimulasikan dengan suhu perendaman 60°C. Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat *Marshall*:

1. Benda uji setelah diketahui berat dan tinggi pada masing-masing sampel, lalu direndam dalam bak perendaman (*water bath*) pada suhu 60°C selama 30 menit.
2. Membersihkan bagian dalam kepala penekan alat uji *Marshall* dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
3. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam, meletakkan benda uji dalam cincin dan memasang *flow* meter, selanjutnya letakkan kembali pada mesin penekan *Marshall*. Kemudian penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, dan mengatur jarum arloji *flow* meter pada angka nol.
4. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan 2 inch (51 mm) per menit, dibaca pada saat nilai stabilitas berhenti dan jarum mulai kembali berputar menurun, itu merupakan nilai stabilitas *Marshall*. pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan dibaca.

5. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan.
6. Uji Durabilitas
 - Tahap-tahap uji durabilitas adalah sebagai berikut:
 - Melakukan perendaman benda uji di *waterbath* sesuai dengan variasi lama perendaman.
 - Melakukan pengujian *Marshall*, sesuai dengan SNI 06-2489-1991.
 - Melakukan pengujian berat jenis maksimum (Gmm) pada setiap variasi lama perendaman, sesuai dengan SNI 03-6893-2002.
 - Melakukan perhitungan durabilitas campuran beraspal. Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK).

3.9. Pengolahan dan Pembahasan Hasil

Berdasarkan data yang didapatkan pada saat penelitian di Laboratorium, akan dilakukan analisa pengolahan serta perhitungan karakteristik *Marshall*. Dari nilai-nilai yang sudah didapatkan, maka didapatkan besarnya pengaruh penggunaan *polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah campuran aspal dan kemudian Melakukan analisis serta perhitungan durabilitas campuran beraspal AC-BC (*Ashpalt Concrete – Binder Course*) menggunakan parameter Indeks Kekuatan Sisa (IKS) atau IRS (*Index Retained Stability*) dan Indeks Durabilitas Pertama (IDP) serta Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Dari ketiga nilai tersebut akan memperlihatkan seberapa kuat campuran beraspal menahan faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas. Sehingga mendapat hasil kesimpulan dan saran.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan pengaruh rendaman menerus dan penambahan PET pada aspal pen 60/70 terhadap nilai Durabilitas Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)* Dengan Limbah Plastik *Polyethylene Terephthalate (PET)* Sebagai Penambah Bahan Pengikat Aspal sebagai berikut:

1. Penambahan *Polyethylene Terephthalate (PET)* mempengaruhi karakteristik aspal antara lain mempengaruhi nilai berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik lembek. Berat jenis aspal akan mengalami kenaikan seiring semakin banyak kadar PET yang dicampurkan. Nilai penetrasi akan semakin mengecil seiring bertambahnya kadar PET dikarenakan aspal menjadi lebih keras. Daktilitas mengalami penurunan dikarenakan semakin banyak kadar PET yang dicampurkan akan membuat aspal menjadi semakin getas. Nilai titik lembek mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar PET dikarenakan dengan penambahan PET akan menambahkan kandungan lilin (*parafin*) pada aspal.
2. Pada pengujian Durabilitas terhadap lama perendaman yaitu nilai IKS, IDP, dan IDK didapatkan bahwa:
 - a) Nilai IKS (Indeks Kekuatan Sisa) terbesar terjadi pada campuran dengan campuran aspal penetrasi 60/70 + PET 4% sebesar 94,58%. Untuk persentase aspal penetrasi 60/70 dengan kadar PET 2% nilai IKS yang di dapat 94,00%, dan dengan kadar PET 3% nilai IKS yang di dapat 94,36%, dan nilai IKS terkecil terjadi pada campuran aspal penetrasi 60/70 + PET 0% sebesar 91,58%. dan dapat disimpulkan bahwa nilai IKS pada campuran

PET telah memenuhi standar bina marga yaitu minimal sebesar 90%. Hal tersebut menunjukkan semakin besar persentase campuran PET yang dicampurkan maka semakin besar nilai IKS.

- b) Nilai IDP (Indeks Durabilitas Pertama) terbesar terjadi pada campuran dengan aspal penetrasi 60/70 + PET 0% sebesar 0,44% dan penurunan Nilai IDP terkecil terjadi pada campuran aspal penetrasi 60/70 + PET 4% sebesar 0,30%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa semakin besar persentase campuran kadar PET yang digunakan maka semakin besar penurunan Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP).
 - c) Nilai IDK (Indeks Durabilitas Kedua) berdasarkan nilai kehilangan kekuatan (a) terbesar terjadi pada campuran dengan aspal penetrasi 60/70 + PET 0% sebesar 19,51% dan nilai kehilangan kekuatan terkecil terjadi pada campuran aspal penetrasi 60/70 + PET 4% sebesar 14,92%. Dari nilai IDK terbesar dan terkecil dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase campuran kadar PET yang digunakan dalam campuran, maka kehilangan kekuatan (a) pada Nilai Indeks Durabilitas Kedua juga semakin kecil.
3. Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) yang diperoleh menunjukkan kehilangan kekuatan yang signifikan seiring dengan bertambahnya kadar PET dalam campuran. Kehilangan kekuatan terbesar terjadi pada penambahan PET 0% dengan lamaperendaman 28 hari. Dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu perendaman dan semakin banyak campuran PET yang ditambahkan dalam campuran, maka campuran beraspal mengalami kenaikan stabilitas dan kinerja yang semakin kecil.
 4. Durabilitas terbaik ditinjau dari nilai IKS, IDP dan IDK terjadi pada campuran aspal penetrasi 60/70 AC-BC dengan campuran PET 4%.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang didapat dan pengalaman selama penelitian di laboratorium, maka beberapa saran untuk penelitian lanjutan yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui persentase 6%, 7%, 8%, 9% dan 10% penambahan PET yang dapat digunakan sebagai campuran beraspal AC- BC.
2. Perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mengetahui durabilitas campuran aspal berbahan dasar AC-BC menggunakan aspal pen 60/70 yang dimodifikasi dengan menambahkan PET pada lapis aspal perkerasan jalan lainya dengan PG dari pengujian dengan alat DSR.
3. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan jenis plastik yang lebih variatif dikarenakan banyaknya jenis limbah plastik sehingga seluruh limbah plastik dapat digunakan sebagai bahan tambah pada campuran aspal.

DAFTAR PUSTAKA

Bina Marga. 2016. *Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2016 Revisi 3*. Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. 2018. *Spesifikasi Umum Edisi 2018*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.

Analisis Dampak Rendaman Air Tawar Terhadap Durabilitas Dan *Properties Marshall* Pada Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* Damar Gumilang

Hendarsin, Shirley L. 2000, *Perencanaan Teknik Jalan Raya*, Jurusan Teknik Sipil– Politeknik Negeri Bandung, Bandung.

Kajian Kemampuan Campuran Aspal-Beton (AC-BC) Dengan Asbuton Cair Yang Diisi Dengan Serpihan HDPE (*High Density Polyethylene*) Okma Yendri 1 , Wahyu Septiandi².

Pengaruh Limbah Kantong Plastik Sebagai Additive Pada Campuran AC-BC Terhadap Properti *Marshall* Durabilitas Dan Workabilitas Bagas Septyan Fauzy¹ , Agus Riyanto² , Sri Sunarjono³ , Senja Rum Harnaeni⁴.

Penumpukan Sampah Plastik Yang Sulit Terurai Berpengaruh Pada Lingkungan Hidup Yang Akan Datang Syifa Evania Farin.

Ramadhan, Putra R, “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik (PET) Terhadap Karakteristik Marshall dan Permeabilitas Pada Aspal Berpori”, Rekayasa Teknik Sipil, Vol. 01, No.1, Hal.129-135, 2017.

Shell Bitumen, 1990, Shell Bitumen Handbook, Shell Bitumen, England Krebs, R.D. dan Walker, R.D. 1971. Highway Materials, McGraw – Hill Book Company, New York.

Suraya Fitri¹, Sofyan M. Saleh², Muhammad Isya³, “ Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Aspal PEN 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC – BC “

Studi Karakteristik *Marshall* Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik Suhardi¹, Priyo Pratomo², dan Hadi Ali³.

Tenrisukki, Andi Tenriajeng. Seri Diktat Kuliah Rekayasa Jalan Raya Gunadarma. hal.207

Zulkarnain. N, Teddy. S, Yessi. S, “Studi Perilaku Campuran Aspal Berpori Terhadap Proporsi Agregat Kasar”, Media Teknik, No.4, Tahun XXIII, Hal.26-32, Nov 2001.