

PENGARUH AIR LAUT TERHADAP KINERJA CAMPURAN BERASPAL BERBAHAN SLAG NIKEL



NABIL RAFIF PUTRA

D011 20 1015



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**PENGARUH AIR LAUT TERHADAP KINERJA CAMPURAN BERASPAL
BERBAHAN SLAG NIKEL**

**NABIL RAFIF PUTRA
D011 20 1015**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**PENGARUH AIR LAUT TERHADAP KINERJA CAMPURAN BERASPAL
BERBAHAN SLAG NIKEL**

NABIL RAFIF PUTRA

D011 20 1015

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Sipil

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH AIR LAUT TERHADAP KINERJA CAMPURAN BERASPAL BERBAHAN SLAG NIKEL

Disusun dan diajukan oleh

NABIL RAFIF PUTRA
D011 20 1015

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 22 Oktober 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng

NIP: 196805292002121002

Menyetujui,
Pembimbing,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., AER.

NIP: 197204242000122001

SKRIPSI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul **“Pengaruh Air Laut Terhadap Kinerja Campuran Beraspal Berbahan Slag Nikel”** adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM, AER.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 29 Oktober 2024



Nabi Rafif Putra
NIM D011201015

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrohmanirrohim, Alhamdulillahirobbil 'aalamiin, segala puji bagi Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat penyelesaian studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, di bawah bimbingan Ibu Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., AER.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., AER., selaku Kepala Laboratorium Perkerasan Jalan Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan fasilitas dan mendukung penulis selama proses penelitian berlangsung.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan dan penelitian skripsi ini dikarenakan keterbatasan ilmu dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak.

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya dan setulus-tulusnya penulis tujukan kepada kedua orangtua tercinta ibu dan ayah yang sejak awal hingga akhir kelak selalu memberikan dukungan baik berupa materi terlebih lagi dukungan moral yang senantiasa diberikan oleh keduanya. Semoga penulis dapat membahagiakan ibu dan ayah dan menjadi apa yang diharapkan oleh keduanya, yakni menjadi anak yang saleh serta menjadi manusia yang berguna bagi sesama.

Melalui kesempatan ini pula, dengan segala kerendahan hati, ucapan terimakasih, penghormatan serta penghargaan yang setinggi-tingginya penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu kepada Ibu Dr. Ir. Hajriyanti Yatmar, S.T., M.Eng, Kanda Muhammad Ikhsan Sabil, S.T., serta rekan-rekan asisten Laboratorium Rekayasa Transportasi, rekan-rekan ENTITAS 2021, serta seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Gowa, Juli 2024

Penulis

ABSTRAK

NABIL RAFIF PUTRA. Pengaruh Air Laut Terhadap Kinerja Campuran Beraspal Berbahan Slag Nikel (dibimbing oleh Muralia Hustim)\

Indonesia merupakan negara kepulauan yang tentu memiliki banyak sekali wilayah yang terletak di pesisir. Tentu hal ini memberikan keunggulan tersendiri kepada kita rakyat Indonesia. Potensi-potensi alam yang terkandung pada wilayah ini memiliki nilai tersendiri yang cukup unggul apabila dimanfaatkan dengan baik. Namun, wilayah pesisir ini memiliki karakteristik berbeda dengan wilayah lain. Fenomena kenaikan muka air laut adalah salah satu fenomena yang menjadi ciri khas dari wilayah pesisir ini. Tentu hal ini rentan menimbulkan kerugian tak terkecuali di bidang infrastruktur, khususnya jalan. Penelitian ini ditujukan khusus untuk menganalisis karakteristik campuran beraspal yang menggunakan bahan slag nikel untuk substitusi agregat kasarnya yang terpengaruh oleh tingkat salinitas air laut di wilayah pesisir. Penelitian ini adalah penelitian eksperimental, dimana peneliti akan membuat rancangan campuran beraspal dengan menggunakan metode coba-coba untuk membuat sampel uji Marshall campuran beraspal. Variabel yang digunakan untuk menganalisis karakteristik dan kinerja dari campuran beraspal berbahan slag nikel ini adalah dengan mensubstitusi slag nikel dengan variasi sebesar 25%, 50%, dan 75% terhadap agregat kasar. Sedangkan untuk variabel perendaman dilakukan perendaman dengan menggunakan air laut dengan variasi waktu selama 0,5 jam, 24 jam (satu hari), dan 168 jam (1 pekan) untuk setiap variasi slag nikel dengan kadar aspal yang telah ditentukan. Selama proses penelitian, peneliti berpedoman pada ketetapan-ketetapan yang telah ada, seperti Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan 2018 (Revisi 2), SNI, ASTM, AASHTO, dan literatur yang berkaitan lainnya. Nilai Indeks Kekuatan Sisa yang diperoleh untuk benda uji yang tidak disubstitusi menggunakan slag nikel dan menggunakan perendaman air tawar memenuhi persyaratan minimum nilai IKS dari spesifikasi yakni sebesar 90% setelah perendaman 24 jam dengan suhu 60°C dengan nilai sebesar 91,383% dengan nilai stabilitas yang memenuhi persyaratan minimum 800 kg. Sedangkan benda uji yang disubstitusi menggunakan slag nikel sebesar 25% menghasilkan nilai IKS 87,872% dan benda uji yang disubstitusi slag nikel sebesar 50% menghasilkan nilai IKS 86,636%, masing-masing dengan nilai stabilitas yang berada jauh di bawah nilai minimum sebesar 800 kg, yakni berkisar antara 200 – 400 kg. Sedangkan untuk nilai IKS yang dihasilkan oleh benda uji yang dipengaruhi air laut terlihat menghasilkan nilai yang jauh lebih stabil dibandingkan benda uji yang tidak dipengaruhi air laut. Namun nilai stabilitas yang dihasilkan berada cukup jauh di bawah nilai standar yakni berkisar pada angka 100 – 500 kg.

Kata Kunci: Uji Marshall, slag nikel, durasi perendaman, IKS, Stabilitas

ABSTRACT

NABIL RAFIF PUTRA. The Effect of Sea Water on the Performance of Nickel Slag Asphalt Mixtures (supervised by Muralia Hustim)

Indonesia is an archipelago that certainly has a lot of areas located on the coast. Of course this gives an advantage to us Indonesians. The natural potential contained in this area has its own value which is quite superior if utilized properly. However, this coastal area has different characteristics from other areas. The phenomenon of sea level rise is one of the phenomena that characterizes this coastal area. Of course, this is prone to cause losses, including in the field of infrastructure, especially roads. This research is specifically aimed at analyzing the characteristics of asphalt mixtures that use nickel slag materials for the substitution of coarse aggregates affected by the salinity level of seawater in coastal areas. This research is an experimental study, where researchers will design asphalt mixtures using the trial-and-error method to make Marshall test samples of asphalt mixtures. The variables used to analyze the characteristics and performance of this nickel slag-based asphalt mixture are by substituting nickel slag with variations of 25%, 50%, and 75% of coarse aggregate. As for the soaking variable, soaking was carried out using seawater with a time variation of 0.5 hours, 24 hours (one day), and 168 hours (1 week) for each nickel slag variation with a predetermined asphalt content. During the research process, researchers were guided by existing provisions, such as the 2018 General Specifications for Road and Bridge Construction Work 2018 (Revision 2), SNI, ASTM, AASHTO, and other related literature. The residual strength index value obtained for test specimens that are not substituted using nickel slag and using fresh water immersion meets the minimum requirements of the IKS value of the specification which is 90% after 24 hours of immersion with a temperature of 60°C with a value of 91.383% with a stability value that meets the minimum requirements of 800 kg. While the test specimens substituted using nickel slag by 25% produced an IKS value of 87.872% and the test specimens substituted with nickel slag by 50% produced an IKS value of 86.636%, each with a stability value that is far below the minimum value of 800 kg, which ranges from 200 - 400 kg. As for the IKS value produced by the test specimens affected by seawater, it appears to produce a value that is much more stable than the test specimens that are not affected by seawater. However, the resulting stability value is quite far below the standard value, which ranges from 100 - 500 kg.

Keywords: Marshall test, nickel slag, immersion duration, IKS, Stability

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
PERNYATAAN PENGAJUAN	II
HALAMAN PENGESAHAN.....	III
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	IV
UCAPAN TERIMA KASIH	V
ABSTRAK	VI
ABSTRACT	VII
DAFTAR ISI	VIII
DAFTAR GAMBAR	X
DAFTAR TABEL	XI
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	XII
DAFTAR LAMPIRAN	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Teori	4
BAB II METODE PENELITIAN.....	30
2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	30
2.2 Bahan Uji dan Alat	30
2.3 Teknik Pengumpulan Data	31
2.4 Analisis Data	38
2.5 Bagan Alir Penelitian	39

BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	41
3.1 Pengujian Karakteristik Material	41
3.2 Rancangan Campuran	43
3.3 Rancangan Campuran Dengan Substitusi Agregat Halus Menggunakan Slag Nikel	49
3.4 Perhitungan Sifat Volumetrik Campuran Beraspal Dengan Pengujian <i>Marshall</i>	52
3.5 Analisis dan Pembahasan Kinerja Campuran Beraspal	66
3.6 Hasil Pemeriksaan Salinitas Air Laut	71
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	72
4.1 Kesimpulan	72
4.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Sistem jaringan jalan primer.....	7
Gambar 2 Sistem jaringan jalan sekunder	7
Gambar 3 Hirarki jalan berdasarkan peranan (fungsi)	8
Gambar 4 Susunan lapis perkerasan jalan lentur	10
Gambar 5 Pengelompokan berbagai jenis bitumen	16
Gambar 6 Pengertian tentang VIM, selimut aspal, aspal yang telah terabsorpsi	19
Gambar 7 Korelasi temperatur (°F) dan nilai viskositas kinematis (cST)	26
Gambar 8 Alat marshall	27
Gambar 9 Lokasi penelitian	30
Gambar 10 Bagan alir penelitian.....	40
Gambar 11 Grafik penggabungan agregat.....	44
Gambar 12 Grafik perhitungan parameter campuran beraspal.....	48
Gambar 13 Barchart penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO)	49
Gambar 14 Grafik karakteristik campuran beraspal jenis AC-WC	56
Gambar 15 Grafik karakteristik campuran beraspal jenis AC-WC	60
Gambar 16 Grafik karakteristik campuran beraspal jenis AC-WC	65
Gambar 17 Rekapitulasi grafik karakteristik campuran beraspal jenis AC-WC	68
Gambar 18 Grafik indeks kekuatan sisa (IKS)	70

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Ketentuan agregat kasar	13
Tabel 2 Ketentuan agregat halus	14
Tabel 3 Faktor luas permukaan agregat.....	22
Tabel 4 Ketentuan untuk aspal keras	31
Tabel 5. Ketentuan agregat kasar	33
Tabel 6 Ketentuan agregat halus	33
Tabel 7 Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal laston (AC)	34
Tabel 8 Ketentuan sifat-sifat campuran laston (AC)	38
Tabel 9 Hasil pemeriksaan karakteristik agregat.....	41
Tabel 10 Hasil pemeriksaan karakteristik aspal	42
Tabel 11 Gradasi agregat gabungan	43
Tabel 12 Hasil perhitungan kadar aspal acuan	45
Tabel 13 Proporsi berat agregat dan aspal per kadar aspal.....	45
Tabel 14 Perhitungan berat jenis campuran beraspal	46
Tabel 15 Hasil pengujian karakteristik campuran beraspal	47
Tabel 16 Proporsi berat agregat dan aspal KAO	49
Tabel 17 Proporsi berat agregat dan aspal KAO untuk benda uji 25 % slag nikel ..	50
Tabel 18 Proporsi berat agregat dan aspal KAO untuk benda uji 50 % slag nikel ..	51
Tabel 19 Perhitungan berat jenis campuran beraspal KAO	52
Tabel 20 Nilai karakteristik marshall campuran dengan variasi kadar slag nikel pada perendaman 0,5 jam pada suhu 60°C	52
Tabel 21 Nilai karakteristik marshall campuran dengan variasi kadar slag nikel pada perendaman 1 hari pada suhu 60°C	57
Tabel 22 Nilai karakteristik marshall campuran dengan variasi kadar slag nikel pada perendaman 7 hari pada suhu 60°C	62
Tabel 23 Indeks kekuatan sisa perendaman air tawar	69
Tabel 24 Indeks kekuatan sisa perendaman air laut	70
Tabel 25 Hasil pengujian salinitas air laut	71

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Singkatan	Arti dan Keterangan
SMA	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
Lataston	Lapis Tipis Aspal Beton
Laston	Lapis Aspal Beton
AC	<i>Asphalt Concrete</i>
AC-WC	<i>Asphalt Concrete – Wearing Course</i>
AC - BC	<i>Asphalt Concrete – Binder Course</i>
Gmb	Berat Jenis Bulk Beton Aspal Padat
Gmm	Berat Jenis Maksimum Beton Aspal yang Belum Dipadatkan
VMA	<i>Voids in the Mineral Aggregate</i>
VIM	<i>Void in Mix</i>
VFA	<i>Volume of Voids Filled With Asphalt</i>
Pab	Kadar Aspal yang Terabsorpsi ke dalam Pori Agregat
Pae	Kadar Aspal Efektif yang Menyelimuti Agregat
FLP	Faktor Luas Permukaan
Gsb	Berat Jenis Bulk Agregat Campuran
Gse	Berat Jenis Efektif Agregat Campuran
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials Classification</i>
KAO	Kadar Aspal Optimum
DMF	<i>Design Mix Formula</i>
IKS	Indeks Kekuatan Sisa
SSD	<i>Saturated Surface Dry</i>
KAA	Kadar Aspal Acuan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi	76
Lampiran 2. Tabel Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat.....	82
Lampiran 3. Tabel Rekapitulasi Hasil Pengujian Bahan Aspal.....	84
Lampiran 4. Tabel Pengujian Karakteristik Agregat.....	85
Lampiran 5. Tabel Pengujian Karakteristik Aspal	98
Lampiran 6. Desain Campuran (<i>Mix Design</i>).....	108
Lampiran 7. Tabel Angka Kalibrasi Marshall	139
Lampiran 8. Angka Korelasi Stabilitas.....	155
Lampiran 9. Tabel Konversi Viskositas.....	156

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki sekitar 17.504 pulau yang terdiri dari 5 pulau besar, yaitu Pulau Jawa, Pulau Sumatra, Pulau Kalimantan, Pulau Sulawesi, dan Pulau Papua. Hal ini tentu membuat Indonesia memiliki banyak wilayah pesisir yang merupakan wilayah peralihan antara daratan dan lautan atau merupakan daerah pertemuan antara darat dan laut yang masih dipengaruhi oleh sifat-sifat laut seperti pasang surut laut, angin laut, dan perembesan air asin. Menurut Azuga (2021), Pesisir diartikan sebagai daerah peralihan antara ekosistem darat dan ekosistem laut. Secara ekologis, batas daratan daerah pesisir mencakup wilayah yang masih dipengaruhi oleh proses-proses fisis laut seperti pasang-surut, angin laut, dan intrusi air laut.

Kawasan pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan, baik yang terjadi di daratan maupun di lautan. Salah satu bentuk tekanan yang mengancam keberlanjutan wilayah pesisir hampir di seluruh dunia adalah fenomena kenaikan muka air laut (*sea level rise*). Bencana yang ditimbulkan dari kenaikan muka air laut memiliki tingkat resiko yang berpotensi besar terjadi di wilayah pantai, dimana nilai tertinggi yang menyamai nilai kerentanan bencana yang ditimbulkan oleh tsunami. Faktor utama yang paling berperan dalam naiknya permukaan air laut adalah kenaikan suhu akibat dari adanya ekspansi dan kontribusi es karena meningkatnya pencairan sebagai dampak dari perubahan iklim. Pemanasan global memberikan pengaruh yang signifikan pada perbedaan kondisi atmosfer bumi yang mempengaruhi peningkatan suhu dan distribusi curah hujan serta mencairnya es di kutub dan mengarah pada perubahan muka air laut. Hal ini akan menjadi masalah besar jika air laut tersebut telah mencapai ke daratan dan menimbulkan kerusakan di wilayah pesisir. (Azuga, 2021)

Azuga (2021) menjelaskan bahwa fenomena kenaikan muka air laut ini akan memiliki dampak buruk yang luas, baik dari kerugian segi ekonomi maupun kerusakan lingkungan. Lebih dari itu, bahaya yang ditimbulkan dari kenaikan muka air laut adalah dapat memperkecil luas daratan akibat tergenangnya daerah-daerah pantai yang tidak berlereng, mempertinggi abrasi pantai, merusak pemukiman, dan menenggelamkan pulau-pulau kecil.

Terdapat pula kasus dimana infrastruktur jalan pada wilayah pesisir tergenang oleh air laut yang memiliki kadar garam didalamnya. Beberapa pihak mengatakan bahwa hal tersebut mempengaruhi kinerja dari campuran beraspal itu sendiri. Fenomena banjir pesisir atau biasa juga dikenal dengan banjir rob ini adalah sebuah hal yang cukup banyak terjadi di Indonesia. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah IV Makassar telah sering mengeluarkan peringatan dini potensi banjir rob saat cuaca ekstrem bagi masyarakat Sulawesi Selatan yang berada di wilayah pesisir. Hal ini tentu akan secara langsung pula berdampak pada infrastruktur jalan yang berada di pesisir. Genangan air laut berdampak pada kerusakan infrastruktur jalan, hal ini karena air laut memiliki kandungan tingkat keasaman, klorida, sulfat, dan tingkat alkalinitas yang tinggi yang dapat melemahkan kemampuan lekatan aspal.

Dampak yang ditimbulkan apabila terjadi kerusakan infrastruktur khususnya jalan adalah terhambatnya proses pelayanan lalu lintas transportasi darat baik bagi angkutan orang maupun barang. Tentu hal ini akan mempengaruhi potensi-potensi perekonomian secara tidak langsung pada wilayah tersebut. Menurut (Yonviter et al.,

n.d.), secara ekonomi, hasil sumber daya pesisir telah memberikan kontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional sekitar 30%. Selain itu, pada wilayah ini juga terdapat berbagai sumber daya masa depan (*future resources*) dengan memperhatikan berbagai potensinya yang pada saat ini belum dikembangkan secara optimal, seperti sumber energi dan farmasi. Selain itu Wilayah pesisir di Indonesia memiliki peluang untuk menjadi produsen (*exporter*) sekaligus sebagai simpul transportasi laut di Wilayah Asia Pasifik. Hal ini menggambarkan peluang untuk meningkatkan pemasaran produk-produk sektor industri Indonesia yang tumbuh cepat (4-9%). Selain itu wilayah pesisir juga masih mengandung potensi lain dibidang pariwisata. Maka, apabila infrastruktur jalan pada wilayah pesisir tidak diperhatikan dengan baik, maka potensi-potensi yang dimiliki tersebut tentu tidak dapat dimanfaatkan dengan optimal.

Jalan pada saat ini berperan sebagai salah satu prasarana vital bagi kehidupan manusia sehari-hari. Jalan berfungsi sebagai prasarana bagi sarana transportasi dalam berbagai sektor kehidupan, baik bagi mobilitas manusia maupun barang. Dengan semakin pesatnya roda perputaran ekonomi yang didasari dari kebutuhan manusia itu sendiri, secara tidak langsung menjadikan prasarana jalan tersebut menjadi sebuah keharusan untuk menunjang segala aktivitas tersebut. Menurut Saodang (2009), jalan sebagai bagian prasarana transportasi mempunyai peran penting dalam bidang ekonomi, sosial budaya, lingkungan hidup, politik, pertahanan dan keamanan dibangun dan dipergunakan untuk kepentingan masyarakat luas. Jalan merupakan prasarana distribusi barang dan jasa merupakan suatu kesatuan sistem jaringan yang menghubungkan seluruh wilayah di Indonesia.

Untuk itu, diperlukan sebuah infrastruktur jalan yang baik dengan tentunya mempertimbangkan prinsip ramah lingkungan untuk keberlanjutan (*continuity*) bagi lingkungan hidup untuk diterapkan kedepannya di Indonesia. Menurut Bethary & Intari (2022), konstruksi jalan di Indonesia secara umum lebih dari 90% dari seluruh panjang jalan yang ada menggunakan teknologi perkerasan lentur atau perkerasan beraspal, dimana pembangunan dan pemeliharaan perkerasan beraspal pada setiap tahunnya membutuhkan jumlah agregat yang banyak. Penggunaan bahan agregat alami dan terus menerus dalam jumlah banyak dapat menghabiskan persediaan bahan agregat alami yang jumlahnya terbatas, salah satu alternatif dapat juga memanfaatkan agregat buatan yaitu slag nikel. Metode ini merupakan salah satu green material karena memanfaatkan limbah dari industri. Slag Nikel sendiri adalah hasil dari proses pirometalurgi. Limbah ini menjadi masalah tersendiri karena dari segi jumlah yang cukup banyak dan laju pertumbuhannya meningkat seiring dengan laju produksi dari nikel itu sendiri. Limbah ini apabila tidak diproses lebih lanjut, tentunya akan membebani biaya operasional sebuah industri.

Campuran Beraspal merupakan campuran antara aspal, agregat, dan dengan atau tanpa bahan tambah. Menurut Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) (2018), campuran beraspal secara garis besar digolongkan menjadi dua yakni Campuran Beraspal Panas (*Hot Mix*), Campuran Beraspal Hangat (*Warm Mix*). Dimana jenis campuran beraspal yang disebutkan antara lain adalah *Stone Matrix Asphalt* (SMA), Lapis Tipis Aspal Beton atau Laston (Hot Rolled Sheet, HRS), dan Lapis Aspal Beton atau Laston (Asphalt Concrete, AC).

Kinerja Campuran Beraspal tentunya ditentukan oleh bahan penyusun atau material yang digunakan untuk pembuatan Campuran Beraspal itu sendiri. Maka dari itu dalam proses pembuatan Campuran Beraspal harus mengikuti ketentuan yang telah ditetapkan oleh stake holder terkait, di Indonesia dalam hal ini ditetapkan oleh

Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR melalui Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan 2018 (Revisi 2) untuk saat ini. Selain itu, faktor-faktor lain seperti iklim dan perilaku berkendara dalam hal ini kebiasaan buruk terutama oleh para pengendara angkutan barang yang sering memuat barang melebihi kapasitas dimensi dan kapasitas angkut (Over Dimension Over Loading) atau sering disebut ODOL juga cukup memengaruhi kinerja durabilitas dari sebuah campuran beraspal.

Maka dari uraian diatas, penulis berniat untuk mencoba menganalisis kinerja campuran beraspal yang terdampak oleh pengaruh dari air laut yang selanjutnya diangkat menjadi judul tugas akhir :

“Pengaruh Air Laut Terhadap Kinerja Campuran Beraspal Berbahan Slag Nikel”

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian-uraian sebelumnya, maka permasalahan yang dapat dirumuskan yaitu:

1. Bagaimana karakteristik campuran beraspal dengan melakukan substitusi agregat halus menggunakan slag nikel?
2. Bagaimana kinerja durabilitas campuran beraspal yang disubstitusi agregat halus menggunakan slag nikel?
3. Bagaimana dampak air laut dapat mempengaruhi kinerja durabilitas campuran beraspal yang disubstitusi agregat halus menggunakan slag nikel?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik campuran beraspal dengan melakukan substitusi agregat halus menggunakan slag nikel.
2. Menganalisis kinerja durabilitas campuran beraspal yang disubstitusi agregat halus menggunakan slag nikel.
3. Menganalisis bagaimana air laut dapat mempengaruhi kinerja durabilitas campuran beraspal yang disubstitusi agregat halus menggunakan slag nikel.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Manfaat secara umum, yaitu:
 - a. Dengan menggunakan substitusi agregat dari bahan alami menjadi bahan buatan seperti slag nikel dapat mengurangi jumlah produksi limbah dari pengolahan nikel yang jumlahnya cukup tinggi dan akan terus bertambah seiring waktu.
 - b. Mendorong pemanfaatan limbah industri yang tidak memiliki nilai agar menjadi green material dalam pembangunan infrastruktur.
2. Manfaat secara khusus, yaitu:
 - a. Menjadi acuan untuk perancangan campuran beraspal yang menggunakan substitusi slag nikel untuk agregat halusnya.
 - b. Sebagai salah satu sumber informasi dan referensi bagi para peneliti yang ingin melakukan penelitian lebih lanjut.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini hanya menggunakan jenis campuran beraspal Laston Lapis Aus (AC-WC).

2. Indeks kinerja durabilitas campuran beraspal pada penelitian ini terbatas hanya pada pengujian sifat-sifat volumetrik campuran beraspal.
3. Slag nikel pada penelitian ini menggunakan jenis slag nikel dengan pendinginan air.
4. Slag nikel pada penelitian ini diasumsikan memenuhi persyaratan agregat sesuai dengan yang dipersyaratkan

1.6 Teori

1.6.1 Wilayah Pesisir

1.6.1.1 Pengertian Wilayah Pesisir

Berdasarkan Yonviter et al., n.d., Wilayah pesisir merupakan wilayah peralihan antara darat dan laut yang bagian lautnya masih dipengaruhi oleh aktivitas daratan, seperti sedimentasi dan aliran air tawar, dan bagian daratannya masih dipengaruhi oleh aktivitas lautan seperti pasang surut, angin laut, dan perembesan air asin. Wilayah pesisir sebagai wilayah daratan dan perairan yang dipengaruhi oleh proses biologis dan fisik dari perairan laut maupun dari daratan, dan didefinisikan secara luas untuk kepentingan pengelolaan sumber daya alam. Sehingga deliniasi wilayah pesisir ini dapat berbeda tergantung dari aspek administratif, ekologis, dan perencanaan.

Kawasan pesisir Indonesia ditempati oleh hampir 60% penduduknya. Berbagai kegiatan sosial dan ekonomi berlangsung di wilayah pesisir, karena tidak sedikit juga kota-kota besar di Indonesia berada di daerah pesisir. Kawasan ini juga digunakan sebagai pusat perdagangan dan pariwisata, selain itu juga merupakan penghubung antar pulau sehingga wilayah pesisir bernilai ekonomi tinggi. (Azuga, 2021)

1.6.1.2 Potensi Wilayah Pesisir

Sebagai wilayah peralihan darat dan laut yang memiliki keunikan ekosistem, dunia memiliki kepedulian terhadap wilayah ini, khususnya di bidang lingkungan dalam konteks pembangunan berkelanjutan (sustainable development). Secara historis, kota-kota penting dunia bertempat tidak jauh dari laut. Alasannya, kawasan ini memiliki potensi sumber daya kelautan dan perikanan, serta memudahkan terjadinya perdagangan antar daerah, pulau, dan benua. Selain itu, wilayah pesisir juga merupakan daerah penghambat masuknya gelombang besar air laut ke darat, yaitu dengan keberadaan hutan mangrove. Wilayah pesisir beserta sumber daya alamnya memiliki makna strategis bagi pengembangan ekonomi Indonesia, karena dapat diandalkan sebagai salah satu pilar ekonomi nasional. (Yonviter et al., n.d.)

Menurut (Yonviter et al., n.d.), fakta-fakta mengenai potensi sumber daya alam wilayah pesisir adalah ;

1. Secara sosial, wilayah pesisir dihuni tidak kurang dari 132 juta jiwa atau 60% dari penduduk Indonesia yang bertempat tinggal dalam radius 50 km dari garis pantai. Dapat dikatakan bahwa wilayah ini merupakan cikal bakal perkembangan urbanisasi Indonesia pada masa yang akan datang.
2. Secara ekonomi, hasil sumber daya pesisir telah memberikan kontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional sekitar 30%. Selain itu, pada wilayah ini juga terdapat berbagai sumber daya masa depan (future resources) dengan memperhatikan berbagai potensinya yang pada saat ini belum dikembangkan secara optimal, seperti sumber energi dan farmasi.
3. Wilayah pesisir di Indonesia memiliki peluang untuk menjadi produsen (exporter) sekaligus sebagai simpul transportasi laut di Wilayah Asia Pasifik. Hal ini

menggambarkan peluang untuk meningkatkan pemasaran produk-produk sektor industri Indonesia yang tumbuh cepat (4-9%).

4. Selanjutnya, wilayah pesisir juga kaya akan beberapa sumber daya pesisir dan lautan yang dapat dikembangkan lebih lanjut meliputi:
 - a. Pertambangan dengan diketahuinya 60% cekungan minyak,
 - b. Perikanan dengan potensi 9,3 juta ton/tahun yang tersebar pada 11 Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP),
 - c. Pariwisata bahari yang diakui dunia dengan keberadaan 21 spot potensial, dan
 - d. Keanekaragaman hayati yang sangat tinggi (marine biodiversity) sebagai daya tarik bagi pengembangan kegiatan "ecotourism".

1.6.1.3 Potensi Bencana di Wilayah Pesisir

Berdasarkan Azuga, (2021) kawasan pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan, baik yang terjadi di daratan maupun di lautan. Salah satu bentuk tekanan yang mengancam keberlanjutan wilayah pesisir hampir di seluruh dunia adalah fenomena kenaikan muka air laut (sea level rise). Bencana yang ditimbulkan dari kenaikan muka air laut memiliki tingkat resiko yang berpotensi besar terjadi di wilayah pantai, dimana nilai tertinggi yang menyamai nilai kerentanan bencana yang ditimbulkan oleh tsunami.

Fenomena kenaikan muka air laut (SLR) itu sendiri merupakan akibat yang ditimbulkan oleh adanya perubahan pada arus laut, dan perubahan densitas yang sangat berkaitan erat satu dengan lainnya. Perubahan komponen tersebut di suatu wilayah akan mempengaruhi perubahan fisis di wilayah lainnya, termasuk perubahan muka air laut pada daerah pesisir sebagai dampak dari kenaikan suhu laut. Walaupun perubahan suhu dan salinitas di laut memberikan kontribusi secara signifikan pada perubahan muka air laut, namun faktor utama yang paling berperan dalam naiknya permukaan air laut adalah kenaikan suhu akibat dari adanya ekspansi dan kontribusi es karena meningkatnya pencairan sebagai dampak dari perubahan iklim.

Fenomena kenaikan muka air laut, akan memiliki dampak buruk yang luas, baik dari kerugian segi ekonomi maupun kerusakan lingkungan. Lebih dari itu, bahaya yang ditimbulkan dari kenaikan muka air laut adalah dapat memperkecil luas daratan akibat tergenangnya daerah-daerah pantai yang tidak berlereng, mempertinggi abrasi pantai, merusak pemukiman, dan menenggelamkan pulau-pulau kecil (PPK). Bencana kenaikan muka air laut dapat membawa dampak yang sangat buruk bagi negara kepulauan, seperti: Indonesia, yang memiliki garis pantai sepanjang 81.000 km serta laut dengan luas mencapai 3,1 juta km², karena fenomena ini dapat menyebabkan terkikisnya garis pantai ke arah darat sehingga akan mempercepat laju erosi pantai berpasir, menimbulkan banjir di daerah pesisir, serta kerusakan pada infrastruktur, seperti: rumah masyarakat, dermaga, dan bangunan lainnya. Kemungkinan terburuk yang akan terjadi adalah ancaman tenggelamnya daratan di sekitar wilayah pesisir yang mengakibatkan masyarakat kehilangan tempat tinggal, kehilangan sumber mata pencaharian, dan tak jarang bencana ini dapat memakan korban jiwa.

1.6.1.4 Pengaruh Salinitas Air Terhadap Kinerja Campuran Beraspal

Salinitas adalah ukuran yang digunakan untuk mengukur kandungan garam (saltiness) di dalam air laut. Unsur-unsur dalam bentuk ion yang melimpah menyusun kandungan garam di dalam air laut adalah Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Ca²⁺, dan K⁺. Ion-ion tersebut proporsinya di dalam air laut adalah konstan karena konsentrasinya

ditentukan oleh proses-proses fisika. Karena sifatnya yang demikian itu, ion-ion tersebut disebut ion konservatif (conservative ions). Secara teoritis, salinitas didefinisikan sebagai banyak gram total ion-ion garam yang terlarut di dalam 1 kg air laut (Kurniawan, 2018). Air laut memiliki berat jenis 1,025 kg/m³ dan derajat keasaman berkisar antara 6,2 sampai dengan 8,4 pH yang mengandung air sebanyak 96,5% sedangkan material terlarut dalam bentuk molekul dan ion sebanyak 3,5%. Material yang terlarut tersebut 89% terdiri dari garam Chlor sedangkan sisanya 11% terdiri dari unsur-unsur lainnya. (Fahmi et al., 2017)

Menurut (Kurniawan, 2018), kerusakan yang timbul pada konstruksi perkerasan jalan dapat disebabkan oleh banyak faktor, diantaranya adalah, lalu lintas, air, material konstruksi perkerasan, iklim, tanah dan Proses pemadatan. Badan Nasional Penanggulangan Bencana mencatat bahwa pada tahun 2010 – 2011 terjadi gelombang pantai dan abrasi di beberapa daerah yaitu di Kota Langsa, Kota Lhokseumawe, Aceh Barat, Aceh Selatan, Aceh Besar, Kota Banda Aceh, Simeulue, Pidie Jaya, Aceh Utara, dan Aceh Barat Daya. Fenomena kenaikan gelombang pantai dan abrasi tersebut disebabkan oleh perubahan iklim secara global, sehingga dapat menyebabkan terjadi banjir rob yang mengenai ruas jalan raya pada daerah pesisir. Genangan air laut berdampak pada kerusakan jalan raya, hal ini karena air laut (rob) memiliki kandungan tingkat keasaman, klorida (Cl⁻), sulfat (SO₄²⁻), dan tingkat alkalinitas yang tinggi yang dapat melemahkan kemampuan lekatan aspal. (Fahmi et al., 2017)

Tentu dengan kondisi ini, diperlukan sebuah inovasi untuk mengatasi permasalahan tersebut secara efektif dan efisien. Mengingat Indonesia yang merupakan negara kepulauan dengan wilayah pesisir yang cukup panjang, serta dengan seluruh potensi yang dimiliki kawasan pesisir tentu harus dimanfaatkan dengan baik. Untuk menunjang potensi kawasan tersebut tentu dibutuhkan prasarana infrastruktur khususnya di bidang jalan yang memadai untuk memperlancar arus distribusi baik orang maupun barang.

1.6.2 Jalan

1.6.2.1 Pengertian Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan penghubung, bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel, jalan lori, dan jalan kabel. (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Indonesia 5 Tahun 2023 Teknis Jalan Dan Perencanaan Teknis Jalan, 2023)

Jalan sebagai bagian prasarana transportasi mempunyai peran penting dalam bidang ekonomi, sosial budaya, lingkungan hidup, politik, pertahanan dan keamanan dibangun dan dipergunakan untuk kepentingan masyarakat luas. Jalan merupakan prasarana distribusi barang dan jasa merupakan suatu kesatuan sistem jaringan yang menghubungkan seluruh wilayah di Indonesia (Saodang, 2009). Jalan Raya merupakan salah satu sub-komponen prasarana sistem transportasi yang paling dominan dan sering digunakan setiap hari oleh masyarakat yang melakukan perjalanan. Jalan Raya dapat dimanfaatkan dengan memakai kendaraan bermotor (mobil atau sepeda motor) dan kendaraan rak bermotor (tenaga manusia, tenaga hewan atau jalan kaki). (Miro, 2011)

1.6.2.2 Klasifikasi Jalan

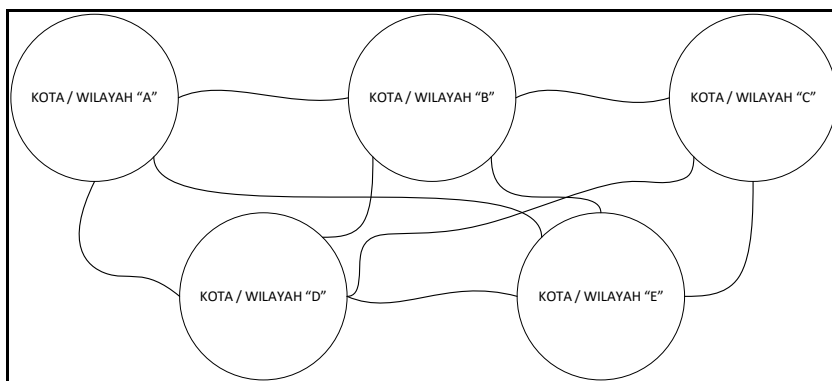
Jalan sebagai sebuah infrastruktur vital tentu membutuhkan sebuah kepastian dalam penanganannya agar dapat terpelihara dengan baik. Maka dari itu, jalan dikelompokkan berdasarkan beberapa indikator untuk memudahkan pengelompokan jalan itu sendiri.

1. Berdasarkan Sistem Jaringan Jalan (SJJ)

Miro (2011), mengklasifikasikan jalan berdasarkan Sistem Jaringan Jalan, Jalan dikelompokkan menjadi 2 yakni Sistem Jaringan Jalan Primer dan Sistem Jaringan Jalan Sekunder

- Sistem Jaringan Jalan Primer

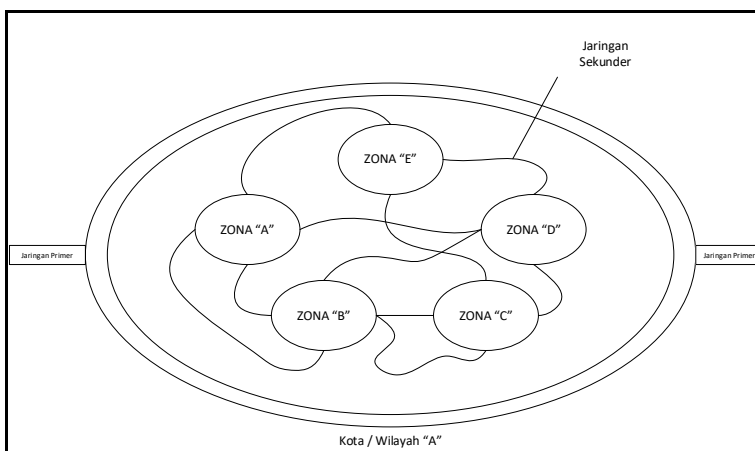
Sistem Jaringan Jalan Primer adalah sistem jaringan jalan yang menghubungkan kota (wilayah) di tingkat nasional atau, dalam pengertian lain, ruas yang menghubungkan simpul-simpul jasa distribusi yang kemudian berwujud kota di tingkat nasional. (Miro, 2011)



Gambar 1 Sistem jaringan jalan primer

- Sistem Jaringan Jalan Sekunder

Sistem Jaringan Jalan Sekunder adalah sistem jaringan jalan yang menghubungkan zona-zona (kawasan-kawasan), titik simpul di dalam kota. (Miro, 2011)

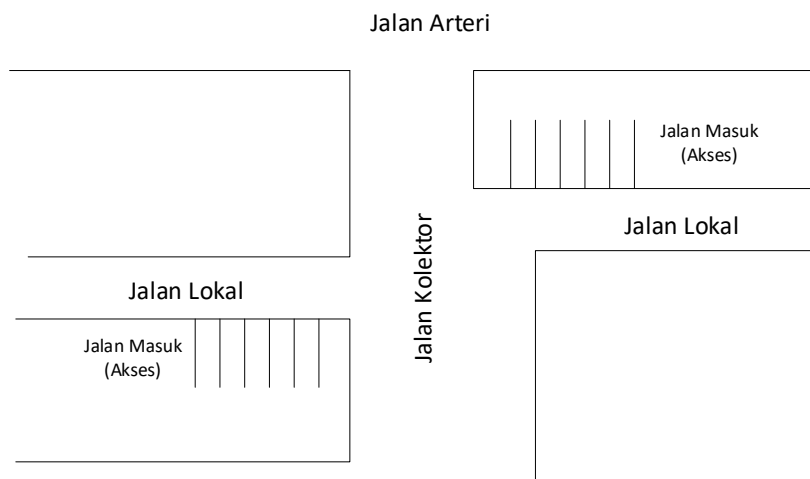


Gambar 2 Sistem jaringan jalan sekunder

2. Berdasarkan Fungsi Jalan

Berdasarkan Fungsi Jalan Miro (2011) mengklasifikasikan jalan menjadi 3 yakni Arteri, Kolektor, dan Lokal.

- Arteri
Jalan Arteri adalah jalan yang melayani angkutan jarak jauh dengan kecepatan rata-rata tinggi dan jumlah jalan masuk (persimpangan) sebidang dibatasi secara efisien atau ditiadakan.
- Kolektor
Jalan Kolektor adalah jalan yang melayani angkutan jarak sedang (angkutan pengumpul atau pembagi) dengan kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk (persimpangan sebidang) masih dibatasi.
- Lokal
Jalan Lokal adalah jalan yang melayani angkutan jarak dekat dengan kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk (persimpangan sebidang) tidak dibatasi.



Gambar 3 Hirarki jalan berdasarkan peranan (fungsi)

3. Berdasarkan Kelas Jalan

Jaringan jalan dapat juga dibedakan berdasarkan klasifikasi teknis atau kelas jalan terkait kemampuan teknis tiap-tiap kelas jalan dalam mendukung beban lalu lintas (berat kendaraan) yang melewatinya. (Miro, 2011)

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 05/PRT/M/2018 Tentang Penetapan Kelas Jalan Berdasarkan Fungsi Dan Intensitas Lalu Lintas Serta Daya Dukung Menerima Muatan Sumbu Terberat Dan Dimensi Kendaraan Bermotor (2018), Kelas Jalan terdiri atas Jalan Kelas I, Jalan Kelas II, dan Jalan Kelas III.

4. Berdasarkan Status dan Kewenangan

Menurut Miro (2011), dalam Hal status dan kewenangan pembinaannya, jalan dibedakan atas jalan nasional, jalan provinsi, dan jalan kabupaten/kota, dan jalan desa. Pembagian jalan berdasarkan status ini juga dapat dikaitkan langsung kepada kelompok jaringan jalan berdasarkan sistem, peranan (fungsi), dan berdasarkan klasifikasi teknisnya.

- Nasional

Jalan Nasional (negara) adalah jaringan jalan primer, arteri, dan kelas I yang pembinaannya dilakukan oleh Pemerintah Pusat (Kementerian PUPR cq. Direktorat Jenderal Bina Marga).

- Provinsi
Jalan Provinsi biasanya merupakan jalan kolektor primer dan kelas I yang pembinaannya dilakukan oleh pemerintah provinsi (Dinas PU/Dinas Bina Marga).
- Kabupaten / Kota
Jalan Kabupaten / Kota biasanya berupa jalan kolektor dan lokal primer, kelas jalannya kebanyakan jalan kelas II, III, dan IV yang pembinaannya dilakukan oleh Pemerintah Kabupaten (Dinas PU/Dinas Bina Marga Kabupaten). Sementara itu, jalan kota mutlak merupakan jaringan jalan sekunder yang biasa merupakan jalan arteri sekunder, kolektor sekunder, atau lokal sekunder yang kelas jalannya biasa dari jalan kelas I sampai dengan VI. Pembinaan jalan ini dilakukan oleh Pemerintah Kota (Dinas PU/Dinas Bina Marga Kota).
- Jalan Desa
Jalan Desa umumnya merupakan jalan lokal dan jalan akses untuk mencapai pekarangan rumah. Jalan Desa ini bisa berupa jalan lokal primer dan jalan akses yang pembinaannya dilakukan oleh pemerintahan desa setempat melalui swadaya masyarakat dan bantuan dana dari pemerintahan yang lebih tinggi.

1.6.3 Jenis dan Fungsi Lapisan Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (2010), Struktur Perkerasan Jalan sebagai komponen dari prasarana transportasi berfungsi sebagai :

1. Penerima beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan. Oleh karena itu, struktur perkerasan perlu memiliki stabilitas yang tinggi, kokoh selama masa pelayanan jalan dan tahan terhadap pengaruh lingkungan dan atau cuaca. Kelelahan (*fatigue resistance*), kerusakan perkerasan akibat berkurangnya kekokohan jalan seperti retak (*cracking*), lendutan sepanjang lintasan kendaraan (*rutting*), bergelombang, dan atau berlubang, tidak dikehendaki terjadi pada perkerasan jalan.
2. Pemberi rasa nyaman dan aman kepada pengguna jalan. Oleh karena itu permukaan perkerasan perlu kesat sehingga mampu memberikan gesekan yang baik antara muka jalan dan ban kendaraan, tidak mudah selip ketika permukaan basah akibat hujan atau menikung pada kecepatan tinggi. Di samping itu permukaan perkerasan harus tidak mengkilap, sehingga pengemudi tidak merasa silau jika permukaan jalan terkena sinar matahari.

Berdasarkan bahan pengikat yang digunakan untuk membuat lapisan atas, perkerasan jalan dibedakan menjadi:

1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat
2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan semen portland, dan
3. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*) yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur.

Di samping pengelompokan di atas, saat ini ada pula yang mengelompokkan menjadi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*), Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), dan Perkerasan Semi Kaku (*Semi – Rigid Pavement*).

1.6.4 Perkerasan Jalan Lentur (Flexible Pavement)

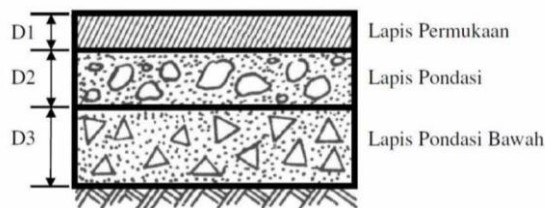
Pada umumnya Perkerasan Lentur baik digunakan untuk jalan yang melayani beban lalu lintas ringan sampai dengan sedang, seperti jalan perkotaan, jalan dengan sistem utilitas terletak di bawah perkerasan jalan, perkerasan bahu jalan, atau perkerasan dengan konstruksi bertahap (Sukirman, 2010). Menurut Sukirman (2003), perkerasan dengan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat disebut perkerasan lentur.

Berdasarkan Hadihardaja (1997), lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut adalah lapisan permukaan (*surface course*), lapisan fondasi atas (*base course*), lapisan fondasi bawah (*sub-base course*), lapisan tanah dasar (*sub grade*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 di bawah.

Menurut Hardiyatmo (2011), Perkerasan lentur (*flexible pavement*) atau perkerasan aspal (*asphalt pavement*), umumnya terdiri dari lapis permukaan aspal yang berada di atas lapis pondasi dan lapis pondasi bawah granuler yang dihamparkan di atas tanah-dasar.

Secara Umum, Perkerasan Lentur terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu :

1. Lapis Permukaan (*Surface Course*)
2. Lapis Fondasi (*Base Course*)
3. Lapis Fondasi Bawah (*Subbase Course*)



Gambar 4 Susunan lapis perkerasan jalan lentur

Pada penelitian ini secara spesifik ditujukan untuk jenis Perkerasan Jalan Lentur (*Flexible Pavement*) pada lapisan permukaan (*surface course*)

1.6.4.1 Lapisan Permukaan (Surface Course)

Menurut Hadihardaja (1997), lapisan permukaan adalah bagian perkerasan jalan yang paling atas. Lapisan tersebut berfungsi sebagai berikut :

1. Lapis perkerasan menahan beban roda, yang mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Lapisan kedap air, air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
3. Lapis aus, lapisan ulang langsung menderita gesekan akibat roda kendaraan.
4. Lapis-lapis yang menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain dengan daya dukung yang lebih jelek.

Lapis permukaan berdasarkan fungsinya :

1. Lapis non struktural, sebagai lapis aus dan kedap air.
2. Lapis struktural, sebagai lapis yang menahan dan menyebarkan beban roda.

Pemilihan bahan lapis permukaan perlu dipertimbangkan kegunaan, umur rencana, serta pentahapan konstruksi agar dicapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

1.6.4.2 Jenis – Jenis Lapisan Permukaan Dengan Campuran Beraspal

Menurut Sukirman (2016), jenis beton aspal dapat dibedakan berdasarkan suhu pencampuran material pembentuk beton aspal. Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran, beton aspal dapat dibedakan atas :

1. Beton Aspal Campuran Panas (*hotmix*), adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 140°C.
2. Beton Aspal Campuran Hangat (*warm mix*), adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampur sekitar 60°C.
3. Beton Aspal Campuran Dingin (*cold mix*), adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu ruang sekitar 25°C.

Jenis campuran beraspal menurut Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) (2018), dibagi menjadi beberapa jenis yang berbeda antara satu dan lainnya.

- Stone Matrix Asphalt (SMA)

Stone Matrix Asphalt selanjutnya disebut SMA, terdiri dari tiga jenis : SMA Tipis; SMA Halus dan SMA Kasar, dengan ukuran partikel maksimum agregat masing-masing campuran adalah 12,5 mm, 19 mm, 25 mm. Setiap campuran SMA yang menggunakan bahan aspal modifikasi disebut masing-masing sebagai SMA Tipis Modifikasi, SMA Halus Modifikasi dan SMA Kasar Modifikasi.

- Lapis Tipis Aspal Beton (Hot Rolled Sheet, HRS)

Lapis Tipis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, HRS Fondasi (*HRS-Base*) dan HRS Lapis Aus (*HRS Wearing Course*, *HRS-WC*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. HRS-Base mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar daripada HRS-WC.

- Lapis Aspal Beton (Asphalt Concrete, AC)

Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis : AC Lapis Aus (*AC-WC*); AC Lapis Antara (*AC-BC*) dan AC Lapis Fondasi (*AC-Base*), dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal modifikasi disebut masing-masing sebagai AC-WC Modifikasi, AC-BC Modifikasi, dan AC-Base Modifikasi.

- Lapis Penetrasi Macadam (Lapen Macadam)

Lapis Penetrasi Macadam (Lapen Macadam) adalah lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal dengan cara disemprotkan lapis diatasnya dan dipadatkan lapis demi lapis. Diatas lapen ini diberi laburan aspal dengan agregat penutup. Tebal lapisan satu lapis 4-10 cm. Lapisan ini dipakai sebagai lapisan permukaan struktural. (Hadihardaja, 1997)

Berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) (2018), pekerjaan ini terdiri dari penyediaan lapis perkerasan terbuat dari agregat yang diikat oleh aspal keras atau asbuton (termasuk aspal cair atau emulsi untuk lapis ikat awal) di mana bahan pengikat ini akan masuk ke dalam agregat setelah pemadatan. Bahan harus terdiri dari agregat pokok, agregat pengunci, agregat penutup (hanya digunakan untuk lapis permukaan) dan aspal keras atau asbuton (termasuk aspal cair atau emulsi). Agregat harus terdiri dari bahan yang bersih, kuat, awet, bebas dari lumpur dan benda-benda yang tidak dikehendaki

- Laburan Aspal (Buras)

Laburan aspal adalah lapisan penutup yang terdiri dari lapisan aspal dan taburan pasir dengan ukuran butir maksimum $\frac{3}{8}$ ". Lapisan ini dipakai pada lapisan non struktural. (Hadihardaja, 1997)

Berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) (2018), Pekerjaan ini meliputi pelaburan aspal pada lokasi perkerasan yang luasnya kecil menggunakan baik aspal panas, aspal cair maupun aspal emulsi untuk menutup retak, mencegah pelepasan butiran agregat, memelihara tambalan atau menambal lubang agar kedap air, memelihara perkerasan eksisting yang mengalami penuaan atau untuk tujuan lainnya.

- Laburan Aspal Satu Lapis (Burtu)

Laburan Aspal Satu Lapis (Burtu) adalah lapisan penutup yang terdiri dari lapisan aspal ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam dengan tebal maksimum 2 cm. Lapisan ini biasanya dipakai sebagai lapisan non struktural. (Hadihardaja, 1997)

Berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) (2018), Pelaburan aspal (*surface dressing*) ini umumnya dihampar di atas Lapis Fondasi Agregat Kelas A yang sudah diberi Lapis Resap Pengikat atau Lapis Fondasi Berbahan Pengikat Semen atau Aspal, atau di atas suatu permukaan beraspal eksisting untuk pemeliharaan.

- Laburan Aspal Dua Lapis (Burda)

Laburan Aspal Dua Lapis (Burda) adalah lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal ditaburi dengan agregat yang dikerjakan dua lapis secara berurutan dengan tebal padat maksimum agregat 3,5 cm. Lapisan ini dipakai sebagai lapisan non struktural. (Hadihardaja, 1997)

Berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) (2018), Pelaburan aspal (*surface dressing*) ini sama dengan Burtu, umumnya dihampar di atas Lapis Fondasi Agregat Kelas A yang sudah diberi Lapis Resap Pengikat atau Lapis Fondasi Berbahan Pengikat Semen atau Aspal, atau di atas suatu permukaan beraspal eksisting untuk pemeliharaan. Burtu atau lapisan pertama Burda tidak boleh lebih tebal dari satu batu dan bebas dari bahan-bahan yang lepas setelah penggilasan yang diikuti oleh penyapuan. Lapisan kedua Burda tidak boleh lebih tebal dari satu batu dan bebas dari bahan-bahan yang lepas setelah penggilasan yang diikuti oleh penyapuan.

- Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir)

Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) adalah lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal dan pasir alam bergradasi menerus yang dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu dengan tebal padat 1-2 cm. Lapisan ini dipakai sebagai lapis non struktural. (Hadihardaja, 1997)

Latasir atau lapis tipis aspal pasir merupakan lapis penutup permukaan perkerasan yang terdiri atas agregat halus atau pasir atau campuran keduanya, dan aspal keras yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) yang selanjutnya disebut SS (*Sand Sheet*), terdiri dari dua macam gradasi, Kelas-A dan Kelas-B. Pemilihan Kelas-A dan Kelas-B tergantung pada tebal nominal minimum. Latasir biasanya memerlukan penambahan filler agar memenuhi kebutuhan sifat-sifat yang disyaratkan Pada umumnya. Latasir pada umumnya digunakan untuk perancangan jalan dengan lalu lintas rendah (≤ 500.000 ESA). (Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2), 2018)

1.6.4.3 Komponen Campuran Beraspal

Perkerasan Jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis. Lapisan paling atas disebut juga sebagai lapisan permukaan, merupakan lapisan yang paling baik mutunya. Di bawahnya terdapat lapisan fondasi, yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. (Sukirman, 2003)

1. Agregat

Berdasarkan Sukirman (2016), agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-78% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Berdasarkan ukuran butirannya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Batasan dari masing-masing agregat ini seringkali berbeda, sesuai institusi yang menentukannya.

- Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No. 4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam tabel 1. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam tabel 1. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih berdasarkan uji menurut SNI 7619:2012. (Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2), 2018).

Tabel 1. 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	Campuran AC Modifikasi dan SMA Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	SNI 2417:2008	Maks. 6%
	100 putaran 500 putaran		Maks. 30%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
SMA		SNI 7619:2012	100/90

Butir Pecah pada Agregat Kasar	Lainnya	95/90
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA Lainnya	SNI 8287:2016 Perbandingan 1 : 5 Maks. 5% Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)

- Agregat Halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm). Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu yang dipersyaratkan. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2 (Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2), 2018).

Tabel 2. Ketentuan agregat halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	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 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)

- Bahan Pengisi (Filler)

Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*), atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (2014), atau semen atau abu terbang tipe C dan F yang sumbernya disetujui oleh pihak yang berwenang memberikan izin.

Bahan pengisi jenis semen hanya diizinkan untuk campuran beraspal panas dengan bahan pengikat jenis aspal keras Pen. 60-70. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*), untuk semen harus dalam rentang 1% sampai dengan 2% terhadap berat total agregat dan untuk bahan pengisi lainnya harus dalam rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat kecuali SMA. Khusus SMA tidak boleh menggunakan semen (Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2), 2018).

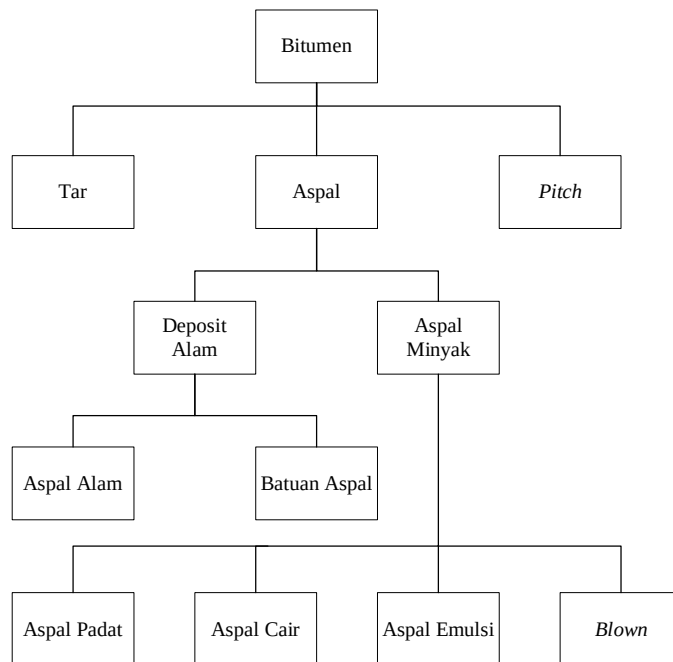
2. Aspal

Menurut (Sukirman, 2003), bitumen adalah zat perekat (*cementitious*) berwarna hitam atau gelap, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi. Bitumen terutama mengandung senyawa hidrokarbon seperti aspal, tar, atau pitch.

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Tar adalah material berwarna coklat atau hitam, berbentuk cair atau semipadat, dengan unsur utama bitumen sebagai atau material hasil kondensat dalam destilasi destruktif dari batubara, minyak bumi, atau material organik lainnya. Pitch didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*) padat, berwarna hitam atau coklat tua, yang berbentuk cair jika dipanaskan. Pitch diperoleh sebagai residu dari destilasi fraksional tar. Tar dan pitch tidak diperoleh di alam, tetapi merupakan produk kimiawi. Dari ketiga material pengikat di atas, aspal merupakan material yang umum digunakan untuk bahan pengikat agregat, oleh karena itu seringkali bitumen disebut pula disebut sebagai aspal.

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran. Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam ada yang diperoleh dari gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad. Aspal alam terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau (*Trinidad Lake Asphalt*).

Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang berupa aspal gunung, terkenal dengan nama Asbuton (= Aspal Batu Buton). Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal. Penggunaan asbuton sebagai salah satu material perkerasan jalan telah dimulai sejak tahun 1920. Asbuton merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena asbuton merupakan material yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Sedangkan aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis asphaltic base crude oil yang banyak mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang mengandung banyak parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*.



Gambar 5. Pengelompokan berbagai jenis bitumen

Gambar diatas menunjukkan hirarki pengelompokan jenis-jenis bitumen yang biasa dimanfaatkan. Pada penelitian ini, penulis menggunakan jenis aspal minyak. Jika dilihat dari bentuknya pada temperatur ruang, maka aspal minyak dapat dibedakan atas aspal padat, aspal cair, dan aspal emulsi seperti berikut.

- **Aspal Padat**
Aspal Padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*). Oleh karena itu semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.
- **Aspal Cair**
Aspal Cair (*cutback asphalt*) yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Bahan pencair ini membedakan aspal cair menjadi :
 - a. *Rapid Curing cut black asphalt* (RC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.
 - b. *Medium curing cut black asphalt* (MC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (kerosene).
 - c. *Slow curing cut black asphalt* (SC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak diesel). SC merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.
- **Aspal Emulsi**
Aspal Emulsi (*emulsified asphalt*) adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair daripada aspal cair. Di dalam aspal emulsi, butir-butir aspal larut dalam air.

Untuk menghindari butiran aspal saling menarik membentuk butir-butir yang lebih besar, maka butiran tersebut diberi muatan listrik.

Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas:

- a. Aspal kationik disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan arus listrik positif.
- b. Aspal anionik disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan negatif.
- c. Nonionik merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak mengantarkan listrik.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas:

- a. *Rapid Setting* (RS), aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat, dan aspal cepat menjadi padat atau keras kembali.
 - b. *Medium Setting* (MS)
 - c. *Slow Setting* (SS), jenis aspal emulsi yang paling lambat mengeras.
- Aspal Berdasarkan Nilai Penetrasinya

Dari ketiga bentuk aspal, semen aspal atau aspal padat adalah bentuk yang paling banyak digunakan. Semen aspal dapat dibedakan berdasarkan nilai penetrasi atau viskositasnya. Penetrasi aspal sendiri menurut SNI 8135:2015 Spesifikasi Aspal Keras Berdasarkan Kelas Penetrasi (2015) adalah ukuran kekerasan aspal yang diperoleh dengan pengujian masuknya jarum ke dalam aspal dengan beban, temperatur dan waktu tertentu sesuai SNI 2456:2011 dan memiliki kadar parafin maksimum 2%.

Berdasarkan SNI 8135:2015 Spesifikasi Aspal Keras Berdasarkan Kelas Penetrasi (2015) yang mencakup lima kelas penetrasi aspal keras yang digunakan untuk konstruksi jalan yakni 40-50, 60-70, 85-100, 120-150, dan 200-300. Di Indonesia, Aspal yang umum digunakan untuk perkerasan jalan dibedakan atas aspal pen 60 dan aspal pen 80.

1.6.4.4 Karakteristik Campuran Beton Aspal

Menurut Sukirman (2016), terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki aspal beton adalah stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan.

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding. Sifat ini dibentuk oleh faktor gesekan internal antar butir-butir agregat dan aspal dan kohesi atau gaya ikat aspal.

2. Keawetan atau Durabilitas

Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal 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.

3. Kelenturan atau Fleksibilitas

Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan fondasi atau tanah dasar (konsolidasi atau *settlement*), tanpa

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

4. Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan atau retak. Hal ini dapat dicapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.

5. Kekesatan Permukaan atau Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip terutama pada kondisi basah. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi.

6. Kedap Air (Impermeabilitas)

Kedap air (impermeabilitas) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film atau selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah rongga yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kededapan campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

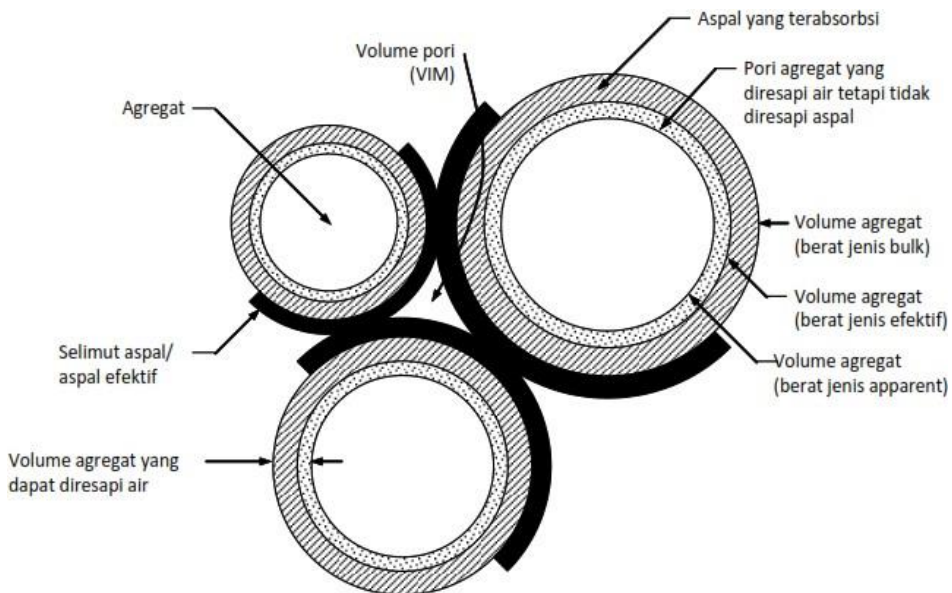
7. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan pekerjaan (*workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal 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 sertakondisi agregat. Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaan.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan, akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan.

1.6.4.5 Sifat Volumetrik Dari Campuran Beton Aspal yang Telah Dipadatkan

Menurut Sukirman (2016), Beton Aspal dibentuk dari agregat, aspal, dan atau tanpa bahan tambahan, yang dicampur secara merata atau homogen di instalasi pencampuran pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan, sehingga terbentuk beton aspal padat. Secara analitis, dapat ditentukan sifat volumetrik dari beton aspal padat, baik yang dipadatkan di laboratorium, maupun di lapangan. Parameter yang biasa digunakan adalah Gmb, VMA, VIM, VFA, dan Tebal selimut aspal.



Gambar 6 Pengertian tentang VIM, selimut aspal, aspal yang telah terabsorpsi

Gambar diatas menunjukkan pengertian mengenai parameter yang biasa digunakan untuk menentukan sifat volumetrik campuran beraspal. Parameter tersebut antara lain adalah G_{mb} , VMA, VIM, VFA, dan Tebal selimut aspal.

1. Berat Jenis Bulk Beton Aspal Padat (G_{mb})

Berat jenis bulk dari beton aspal padat ($= G_{mb}$) dapat diukur dengan mempergunakan hukum Archimedes, yaitu :

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (1)$$

dengan :

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal

B_k = berat kering beton aspal padat, gram

B_{ssd} = berat kering permukaan dari beton aspal; yang telah dipadatkan, gram

B_a = berat beton aspal padat di dalam air, gram

Di samping menghasilkan berat jenis bulk beton aspal padat, diperoleh pula nilai absorpsi air. Persen absorpsi air dari beton aspal padat terhadap volume=

$$\frac{B_{ssd} - B_k}{B_{ssd} - B_a} \times 100 \quad (2)$$

2. Berat Jenis Maksimum Beton Aspal yang Belum Dipadatkan (G_{mm})

Berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan ($= G_{mm}$) adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa pori/udara, yang diperoleh dari pemeriksaan di laboratorium.

$$G_{mm} = \frac{A}{A - C} \quad (3)$$

dengan :

G_{mm} = berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan

- A = berat campuran beton aspal yang belum dipadatkan pada kondisi kering, gram
- C = berat campuran beton aspal yang belum dipadatkan di dalam air, gram

3. Volume Pori Dalam Agregat Campuran (Voids in the Mineral Aggregate, VMA)

Volume pori dalam agregat campuran adalah banyaknya pori di antara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase. VMA adalah volume pori di dalam beton aspal padat jika seluruh selimut aspal ditiadakan. Tidak termasuk di dalam VMA volume pori di dalam masing-masing butir agregat. VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka.

VMA dapat dihitung melalui 2 cara yaitu :

- Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persentase dari **berat beton aspal padat**

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}} \right) \% \text{ dari volume bulk} \quad (4)$$

dengan :

VMA = volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat, dari volume *bulk* beton aspal padat

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

P_s = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat

- Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persentase dari **berat agregat**.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_{a1}} \right) \% \text{ dari volume bulk} \quad (5)$$

dengan :

VMA = volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

P_{a1} = kadar aspal, % terhadap berat agregat

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat

4. Volume Pori Dalam Beton Aspal Padat (Void In Mix, VIM)

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat (= VIM) adalah banyaknya pori di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat. VIM adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran betona aspal dipadatkan. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur.

VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kekedapan airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami bleeding jika temperatur meningkat.

$$VIM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \% \text{ dari volume bulk beton aspal padat} \quad (6)$$

dimana :

VIM = volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

G_{mm} = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

5. Volume Pori Antara Butir Agregat Terisi Aspal (Volume of voids Filled with Asphalt, VFA)

Banyaknya pori-pori antar butir agregat (= VMA) di dalam beton aspal padat, yang terisi oleh aspal, dinyatakan sebagai VMA. Persentase antara butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFA. Jadi, VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk di dalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Dengan demikian, aspal yang mengisi VFA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, atau dengan kata lain VFA inilah yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal.

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \% \text{ dari VMA} \quad (7)$$

dengan :

VFA = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal, % dari VMA

VMA = volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari

volume *bulk* beton aspal padat

VIM = volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

6. Kadar Aspal yang Terabsorpsi ke Dalam Pori Agregat (P_{ab})

Aspal yang terdapat dalam beton aspal padat berfungsi sebagai penyalut butir-butir agregat dan pengisi pori di dalam masing-masing butir agregat (terabsorpsi ke dalam pori agregat). Dengan jumlah aspal dalam campuran beton aspal yang sama banyak, maka selimut aspal lebih tipis akan terjadi pada campuran dengan agregat yang memiliki pori-pori lebih banyak dapat mengabsorpsi aspal. Hal ini berdampak pada berkurangnya durabilitas beton aspal. Sebaliknya, jika yang terabsorpsi sedikit maka selimut aspal akan tebal, durabilitas beton aspal lebih baik, tetapi kemungkinan terjadi bleeding akan menjadi besar.

Banyaknya aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir-butir agregat dinyatakan sebagai persentase dari berat campuran agregat, dan disebut P_{ab}

$$P_{ab} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} G_a \% \text{ dari berat agregat} \quad (8)$$

dengan :

P_{ab} = kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat, % dari berat agregat

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk aspal beton padat

G_{se} = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat

G_a = berat jenis aspal

7. Kadar Aspal Efektif yang Menyelimuti Agregat (P_{ae})

Banyaknya aspal yang berfungsi menyelimuti permukaan setiap butir agregat adalah jumlah aspal yang dimasukkan ke dalam campuran beton aspal dikurangi bagian yang terabsorpsi ke dalam pori setiap butir agregat. Kadar aspal ini disebut kadar aspal efektif (P_{ae}), yang dinyatakan sebagai persentase terhadap berat beton aspal padat.

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} P_s \% \text{ dari berat beton aspal padat} \quad (9)$$

dengan :

P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, % terhadap berat beton aspal padat

P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %

P_s = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat

P_{ab} = kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat, % terhadap berat agregat

8. Tebal Selimut atau Film Aspal

Banyaknya aspal yang berfungsi menyelimuti permukaan setiap butir agregat dinyatakan dengan kadar aspal efektif. Semakin tinggi kadar aspal efektif semakin tebal selimut atau film aspal pada masing-masing butir agregat. Tebal selimut atau film aspal ini sangat ditentukan oleh luas permukaan seluruh butir-butir agregat pembentuk beton aspal.

Luas total permukaan agregat campuran ditentukan oleh gradasi dari agregat campuran. The Asphalt Institute (TAI) dalam MS-2 menghitung luas total permukaan agregat dengan mempergunakan data persentase lolos 1 set saringan dan faktor luas permukaan (FLP).

Faktor Luas Permukaan (FLP) merupakan luas permukaan agregat sesuai ukuran saringan untuk setiap 1 kg agregat. Jadi FLP dinyatakan dalam m^2/kg . Nilai FLP untuk satu set saringan menurut TAI adalah seperti pada tabel berikut:

Tabel 3 Faktor luas permukaan agregat

Saringan		FLP
No	Bukaan, mm	
No. 4	4,75	0,41
No. 8	2,36	0,82
No. 16	1,18	1,64
No. 30	0,6	2,87
No. 50	0,3	6,14
No. 100	0,15	12,29
No. 200	0,075	32,77

Sumber: Beton aspal campuran panas (2016)

Untuk semua ukuran saringan di atas No. 4, maka nilai faktor luas permukaannya diperhitungkan sebagai 0,41. FLP ini digunakan apabila seluruh urutan saringan digunakan.

$$\text{Tebal Selimut Aspal} = \frac{P_{ae}}{G_a} \cdot \frac{1}{LP \cdot P_s} \cdot 1000 \mu m \quad (10)$$

dengan :

P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, % terhadap berat beton aspal padat

G_a = berat jenis aspal

P_s = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat

LP = luas permukaan total dari agregat campuran di dalam beton aspal padat

9. Berat Jenis Bulk Agregat Campuran (G_{sb})

Agregat yang digunakan untuk membentuk beton aspal padat, memiliki gradasi tertentu yang biasanya diperoleh dari pencampuran beberapa fraksi agregat yang tersedia di lokasi. Masing-masing fraksi agregat mempunyai berat jenis yang berbeda, sehingga untuk menghitung berat beton aspal padat dibutuhkan berat jenis agregat campuran.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (11)$$

dengan :

- G_{sb} = berat jenis *bulk* agregat campuran
 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = persentase berat masing-masing fraksi terhadap berat total agregat campuran
 $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ = berat jenis *bulk* dari masing-masing fraksi agregat (fraksi 1 sampai dengan fraksi n)

10. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran (G_{se})

Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan, G_{mm} , dapat ditentukan di laboratorium. Nilai G_{se} umumnya konstan untuk agregat campuran, karena hanya dipengaruhi oleh kemampuan aspal terabsorpsi ke dalam pori dari masing-masing butir agregat.

$$G_{se} = \frac{100 - P_a}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_a}{G_a}} \quad (12)$$

dengan :

- G_{se} = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat
 G_{mm} = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan
 P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %
 G_a = berat jenis aspal

1.6.5 Slag Nikel Sebagai Material Jalan Ramah Lingkungan

1.6.5.1 Pengertian Slag Nikel

Hasil penambangan dan pengolahan bijih nikel menghasilkan limbah padat yang disebut dengan slag, dengan komposisi bahan antara lain 70% komposisi kimia terdiri dari Silika 41,47%, Ferri Oksida 30,44% dan Alumina 2,58%. Dengan komposisi silica yang cukup besar pada slag nikel diharapkan proses hidrasi yang terjadi antara pasta dan semen agregat membentuk interface yang lebih sempurna, sehingga kehancuran beton tidak terjadi pada interface, atau walaupun terjadi pada interface diperlukan energi yang cukup tinggi. (Bethary & Intari, 2022)

1.6.5.2 Jenis-jenis Slag Nikel

Limbah slag terbentuk melalui proses peleburan bijih nikel adalah: slag cair dengan temperatur kisaran $\pm 1550^\circ\text{C}$ langsung dikeluarkan melewati slag runner ke kolam granulasi (slag granulation pond) kemudian slag cair yang mengalir akan mengalami pendinginan. (Bethary & Intari, 2022)

Metode pendinginan pada pengolahan slag terdapat 2 proses dimana dibantu dengan semprotan air dengan tekanan tinggi untuk memecah ukuran slag sehingga terbentuk granule (butiran-butiran) dan pendinginan dengan udara, dimana ukuran butir agregat limbah slag nikel bisa diatur dengan alat pemecah batu (stone crusher). (Bethary & Intari, 2022)

1.6.5.3 Pemilihan Material Slag Nikel Sebagai Bahan Perkerasan Jalan

Konstruksi jalan di Indonesia secara umum lebih dari 90% dari seluruh panjang jalan yang ada menggunakan teknologi perkerasan lentur atau perkerasan beraspal, dimana pembangunan dan pemeliharaan perkerasan beraspal pada setiap tahunnya membutuhkan jumlah agregat yang banyak. Penggunaan bahan agregat alami dan

terus menerus dalam jumlah banyak dapat menghabiskan persediaan bahan agregat alami yang jumlahnya terbatas, salah satu alternatif dapat juga memanfaatkan agregat buatan yaitu slag nikel. Metode ini merupakan salah satu green material karena memanfaatkan limbah dari industri. (Bethary & Intari, 2022)

Menurut Susanto & Hamdani (2020), setiap tahun, ada sekitar 1 juta ton slag yang tertimbun hasil eksplorasi perusahaan tambang di Indonesia. Pada periode 2019 hingga 2024 mendatang, limbah slag dalam negeri diperkirakan mencapai 14.173.000 ton. Fakta Slag sebagai pengganti bahan baku jalan, Indonesia raja nikel dunia, menguasai 20 persen ekspor bijih nikel dunia. Setiap tahun, ada sekitar 1 juta ton slag dihasilkan dari dalam negeri. Substitusi terhadap material alam yang kian menipis.

Deposit slag yang melimpah, merupakan harta karun yang tak ternilai milik Indonesia. Slag sangat berpotensi untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan jalan substitusi material alam yang kualitasnya tidak jauh berbeda. Deposit slag menjadi solusi bahan baku jalan bagi Kementerian PUPR untuk membangun infrastruktur negeri ini. Komitmen ini telah ditindaklanjuti dengan meneliti seberapa jauh potensi penerapannya dan bahaya apa yang dihasilkan dengan penggunaan limbah yang tidak mudah meledak tersebut. (Susanto & Hamdani, 2020)

1.6.6 Rancangan Lapis Aspal Beton (Laston) Lapis Aus (Asphalt Concrete – Wearing Course, AC-WC)

Jenis campuran beraspal yang akan dibuat pada penelitian ini adalah Lapis Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) dengan menggunakan aspal pen. 60-70. Jenis campuran beraspal ini merupakan jenis aspal yang banyak digunakan sebagai lapis perkerasan jalan di Indonesia. Menurut Sukirman (2016), Di Indonesia, aspal yang digunakan saat ini untuk perkerasan jalan adalah aspal pen. 60-70.

Rancangan campuran aspal panas pada penelitian ini menggunakan metode menetapkan gradasi terlebih dahulu kemudian dicari kadar aspal optimum. Oleh karena itu yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran yang disyaratkan dan sifat campuran yang sesuai dengan spesifikasinya.

Hasil dari rancangan campuran aspal panas dibuatkan suatu benda uji dan pengujian dengan menggunakan alat Marshall serta menentukan kadar aspal optimum. Berikut adalah proses rancangan campuran beraspal yang akan dilakukan.

1.6.6.1 Rancangan Agregat Campuran Dengan Metode Analitis

Rancangan proporsi agregat campuran adalah penetapan nilai a, b, c dari fraksi agregat yang akan dicampur sehingga menghasilkan agregat campuran sesuai spesifikasi. Rancangan dapat dilakukan dengan menggunakan metode analitis ataupun metode grafis.

$$P = aA + bB + cC \quad (13)$$

$$(a + b + c) = 1 \text{ atau } 100\% \quad (14)$$

dengan :

P = persen lolos ayakan dengan bukaan d mm, sesuai gradasi rencana

A = persen lolos ayakan fraksi agregat A untuk bukaan d mm

B = persen lolos ayakan fraksi agregat B untuk bukaan d mm

C = persen lolos ayakan fraksi agregat C untuk bukaan d mm

a = proporsi fraksi agregat A

b = proporsi fraksi agregat B

c = proporsi fraksi agregat C

Nilai a, b, c diperoleh dengan “*trial and error*”, karena perhitungan yang dilakukan untuk satu ukuran ayakan belum tentu secara keseluruhan dapat menghasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi campuran. Proporsi yang terbaik adalah proporsi yang dapat menghasilkan agregat campuran bergradasi mendekati gradasi rencana dan berada dalam rentang sesuai spesifikasi gradasi agregat campuran (Sukirman, 2016).

1.6.6.2 Pembuatan Benda Uji

Berdasarkan Sukirman (2016), Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam membuat benda uji adalah sumber benda uji, jumlah benda uji yang disiapkan, persiapan agregat yang akan digunakan, penentuan suhu pencampuran dan suhu pemadatan, pencampuran dan pemadatan benda uji, persiapan untuk pengujian Marshall.

A. Sumber Benda Uji

Tahap awal dari persiapan benda uji adalah mengetahui secara pasti untuk apa pengujian Marshall dilakukan, sehingga sumber benda uji dapat ditentukan dengan tepat, yaitu :

1. Jika uji Marshall dilakukan sebagai rangkaian proses merancang formula campuran, maka benda uji disiapkan dari fraksi agregat yang direncanakan akan menjadi bahan pencampur beton aspal padat
2. Jika uji Marshall dilakukan sebagai bagian dalam sistem pengendalian mutu, maka benda uji disiapkan dari hasil produksi campuran beton aspal padat yang diambil dari truk yang sedang memuat hasil produksi dari UPA
3. Jika uji Marshall dilakukan sebagai bagian dari suatu penelitian, maka benda uji harus disiapkan sesuai dengan tujuan penelitian tersebut dilakukan

Dalam hal ini, tahap awal dari persiapan benda uji sesuai dengan poin ketiga, yaitu sebagai bagian dari suatu penelitian.

B. Jumlah Benda Uji yang Disiapkan

Jumlah benda uji disiapkan sesuai dengan tujuan dilakukan uji Marshall dan standar yang digunakan. Sebagai informasi adalah :

1. Untuk merancang formula campuran dibutuhkan 15 buah benda uji yaitu masing-masing 3 buah dari 5 variasi kadar aspal. Variasi kadar aspal dipilih sedemikian rupa sehingga sekurang-kurangnya terdapat 2 variasi di atas dan 2 variasi di bawah kadar aspal yang diperkirakan
2. Untuk pengendalian mutu dibutuhkan benda uji sesuai sistem pengendalian mutu yang tercantum dalam spesifikasi pekerjaan. Pada umumnya diambil benda uji untuk setiap produksi 200 ton atau minimum 2 pengujian per hari
3. Jumlah benda uji untuk penelitian ditentukan oleh peneliti sesuai dengan tujuan penelitiannya

Merujuk pada poin ketiga, peneliti akan menggunakan jumlah benda uji yang sesuai dengan poin pertama.

C. Menghitung Kadar Aspal Acuan Campuran Beton Aspal

Kadar aspal acuan campuran beton aspal adalah kadar aspal yang menjadi acuan untuk membuat benda uji Marshall agar diperoleh kadar aspal optimum, diharapkan kadar aspal acuan ini berada di sekitar kadar aspal optimum. Kadar aspal acuan ditentukan dengan menggunakan Rumus dibawah ini :

$$KAA = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% \text{ filler}) + K \quad (15)$$

dengan :

KAA = kadar aspal acuan, persen terhadap berat campuran

CA = persen agregat tertahan ayakan No. 8

FA = persen agregat lolos ayakan No. 8 dan tertahan ayakan No. 200

Filler = persen agregat lolos ayakan No. 200

K = konstanta (0,5 – 1,0 untuk Laston dan Lataston)

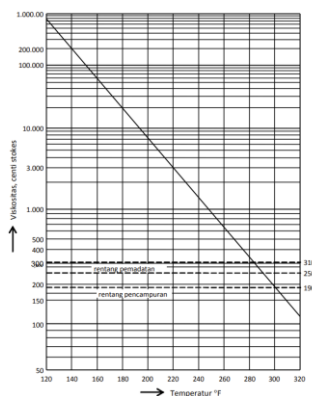
D. Persiapan Agregat Untuk Benda Uji

Agregat benda uji untuk rancangan formula campuran beton aspal perlu disiapkan terlebih dahulu dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Agregat dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 – 110°C sekurang-kurangnya selama 4 jam dalam oven
2. Setelah kering agregat dipisah-pisahkan sesuai ukurannya dengan menggunakan ayakan. Agregat yang digunakan untuk membuat benda uji Marshall tidak boleh melebihi 25 mm (=1 inci). Jika digunakan agregat lebih besar dari 25 mm sampai dengan 38 mm (=1,5 inci), maka haruslah dilakukan modifikasi
3. Agregat ditimbang sesuai persen tertahan setiap ukuran ayakan yang dihitung berdasarkan gradasi rencana agregat campuran

E. Suhu Pencampuran

Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan viskositas aspal ketika pencampuran dilaksanakan, yaitu sebesar 170 ± 20 centistokes, dan suhu pemadatan adalah suhu pada saat aspal mempunyai nilai viskositas kinematis sebesar 280 ± 30 centistokes. Gambar 7 menggambarkan contoh korelasi antara temperatur dan nilai viskositas kinematis (cSt). Nilai viskositas kinematis digambarkan dengan menggunakan skala logaritma, dan temperatur digambarkan dengan menggunakan skala linier. Setiap aspal tentu saja mempunyai korelasi antara temperatur (°F) dan nilai viskositas kinematis (cST) sendiri.



Gambar 7 Korelasi temperatur (°F) dan nilai viskositas kinematis (cST)

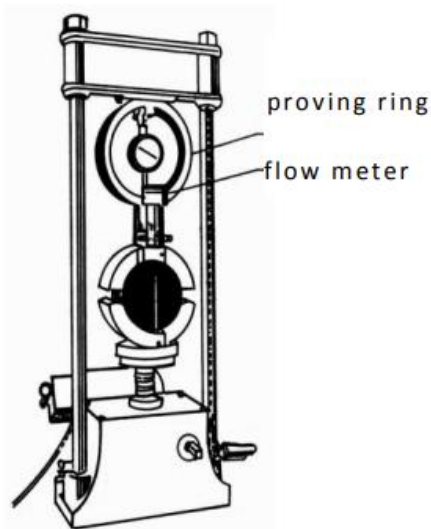
F. Pencampuran dan Pemadatan Benda Uji

Campuran disiapkan untuk satu benda uji. Agregat ditimbang sesuai berat tertahan untuk setiap ayakan berdasarkan gradasi yang diinginkan. Berat total agregat campuran adalah berat agregat yang dapat menghasilkan satu benda uji padat setinggi 6,35 cm dengan diameter 10,2 cm. Umumnya berat agregat campuran adalah ± 1200 gram. Sebaiknya sebelum dibuat benda uji untuk uji Marshall, dibuat dahulu satu benda uji dengan berat agregat tertentu, untuk memeriksa apakah berat agregat yang dipilih dapat menghasilkan benda uji dengan tinggi $6,35 \text{ cm} \pm 1,27 \text{ mm}$. Koreksi terhadap berat agregat yang dipilih perlu dilakukan jika tinggi benda uji yang diperoleh lebih atau kurang dari yang ditetapkan.

Agregat dipanaskan sampai mencapai suhu $\pm 20^\circ\text{C}$ di atas suhu pencampuran. Agregat panas dan aspal panas sejumlah kadar aspalnya dimasukkan ke dalam tempat pencampuran, dicampur merata pada suhu pencampuran. Campuran panas dituangkan ke dalam mold yang telah disiapkan, ditusuk-tusuk, dan dipadatkan dengan menggunakan penumbuk seberat 10 pon ($= 4,356 \text{ kg}$) dengan tinggi jatuh 18 inch ($= 45,7 \text{ cm}$). Setelah pemadatan selesai dilakukan, maka benda uji dibiarkan dingin dan dikeluarkan dari mold.

1.6.6.3 Pengujian Marshall

Berdasarkan Sukirman (2016), setelah benda uji selesai dicampur dan dipadatkan, maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut untuk menentukan kinerja beton aspal. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (proving ring) berkapasitas 22,2 KN ($= 5000 \text{ lbf}$) dan flowmeter seperti pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8 Alat marshall

A. Pengujian Berat Jenis Bulk Dari Benda Uji

Penentuan berat jenis bulk dari benda uji beton aspal padat dilakukan segera setelah benda uji dingin dan mencapai suhu ruang. Berat jenis bulk ditentukan sesuai AASHTO T166-88. Benda uji ditimbang dalam keadaan kering, lalu direndam dalam air selama 24 jam sehingga air menyerap ke dalam rongga benda uji. Benda uji diangkat dari dalam air dan dilap bagian luar sehingga kering permukaan. Benda uji

kering permukaan ditimbang dalam air, dan dengan menggunakan Rumus 1 dapat ditentukan berat jenis bulk benda uji.

B. Pengujian Nilai Stabilitas dan Kelelahan (*Flow*)

Pengujian stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban, dan flowmeter mengukur besarnya kelelahan yang terjadi akibat beban. Untuk mendapatkan suhu benda uji sesuai dengan suhu terpanas dilapangan, maka sebelum dilakukan pengujian, benda uji dipanaskan terlebih dahulu selama 30 atau 40 menit dengan temperatur 60°C di dalam water bath. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat Marshall, dan beban diberikan kepada benda uji dengan kecepatan 2 inci/menit atau 51 mm/menit. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari proving ring, kelelahan yang terjadi pada saat itu merupakan nilai kelelahan (*flow*) yang dapat dibaca pada flowmeter nya.

Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi *proving ring*, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji. Kelelahan adalah perubahan bentuk plastis suatu campuran aspal yang terjadi akibat beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01". Nilai flow juga diperoleh dari hasil pembacaan pada alat Marshall Test sewaktu melakukan pengujian Marshall. *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 kelelahan (*flow*), dan dinyatakan dalam satuan kg/mm atau kN/mm (Wahjoedi, 2009).

C. Perhitungan Parameter Marshall Lainnya

Setelah uji Marshall dilakukan, maka dilanjutkan dengan perhitungan untuk menentukan :

1. Kuosien Marshall, adalah ratio antara nilai stabilitas dan kelelahan
2. Berat volume benda uji
3. Volume rongga benda uji (VIM)
4. Volume rongga agregat dalam benda uji (VMA)
5. Volume rongga agregat yang terisi oleh aspal (VFA)
6. Tebal selimut aspal

Rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung parameter Marshall ini dapat dibaca pada subbab 2.4. Perkerasan Jalan Lentur (Flexible Pavement) pada anak subbab 2.4.4. Sifat Volumetrik Dari Campuran Beton Aspal yang Telah Dipadatkan.

1.6.6.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Sukirman (2016), Kadar Aspal Optimum adalah kadar aspal tengah-tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan pada grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter Marshall. Jika seluruh uji sifat campuran telah sesuai dengan persyaratan, maka aspal optimum menjadi kadar aspal rencana yang digunakan sebagai DMF (*Design Mix Formula*).

Design Mix Formula berisikan antara lain :

1. Ukuran nominal maksimum agregat
2. Sumber-sumber agregat dan aspal
3. Proporsi setiap fraksi agregat
4. Gradasi rencana agregat campuran
5. Kadar aspal optimum
6. Suhu pencampuran

7. Grafik yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan setiap parameter yang menjadi syarat campuran sesuai dengan jenis campuran yang dipilih yang dilakukan sebagai proses menentukan DMF.

1.6.6.5 Indeks Kekuatan Sisa

Menurut Wahjoedi (2009), Indeks Kekuatan Sisa dianalisis dari data-data hasil pengujian terhadap sifat-sifat mekanik benda uji (*stability* dan *flow*) dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji stabilitas marshallnya dengan perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T_1 dan kelompok kedua diuji setelah perendaman pada suhu 60°C selama T_2 . Kemudian ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Marshall dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (16)$$

dengan :

S_1 = nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T_1 menit (Kg)

S_2 = nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T_2 menit (Kg)

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini direncanakan akan dilakukan pada rentang waktu bulan Mei sampai dengan bulan Juli 2024. Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Kabupaten Gowa.



Gambar 9 Lokasi penelitian

2.2 Bahan Uji dan Alat

2.2.1 Bahan Uji

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Aspal Penetrasi 60/70 yang diperoleh dari AMP PT. Tri Star Mandiri.
2. Agregat Kasar berupa batu pecah yang diperoleh dari AMP PT. Tri Star Mandiri.
3. Agregat Halus berupa abu batu yang diperoleh dari AMP PT. Tri Star Mandiri.
4. Filler berupa semen portland.
5. Bahan Pengganti berupa slag nikel yang diperoleh dari Pabrik Smelter Nikel PT. Huadi Nickel Alloy Indonesia.

2.2.2 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

A. Alat Uji Pemeriksaan Aspal Minyak

Pada pemeriksaan aspal, alat uji yang digunakan antara lain : alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat saybolt viscosimeter.

B. Alat Uji Pemeriksaan Agregat

Pada pemeriksaan agregat, alat uji yang digunakan antara lain : mesin uji abrasi (Los Angeles) satu set saringan standar (ukuran $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", no. 4, no. 8, no. 16, no.30,

no. 50, no. 100, dan no. 200), alat uji kepipihan dan kelonjongan, oven, alat uji berat jenis, bak perendam dan tabung sand equivalent.

C. Alat Uji Campuran Beraspal

Pada pemeriksaan agregat, alat uji yang digunakan antara lain : alat tekan Marshall, mould silinder, penumbuk manual, ejector, bak perendam, alat-alat pencampur.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan persiapan untuk mengumpulkan data yang akan menunjang proses penelitian ini. Tahapan-tahapan yang dilakukan oleh peneliti didasarkan pada Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2), SNI, ASTM, AASHTO terkait, serta literatur-literatur terakut lainnya.

Tahapan tersebut dimulai dengan pengujian sifat bahan, yakni pemeriksaan bahan pengikat atau aspal, pemeriksaan agregat kasar, serta pemeriksaan agregat halus untuk menentukan karakteristik masing-masing bahan yang akan digunakan.

Berikutnya dilakukan perancangan campuran yang dilakukan setelah seluruh bahan telah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan untuk membuat campuran jenis Laston Lapis Aus (*Asphalt Concrete – Wearing Course / AC-WC*).

Tahapan terakhir adalah pengujian benda uji menggunakan alat uji Marshall Test dengan variabel perendaman variatif menggunakan dua jenis air berbeda yakni air tawar dan air laut (asin).

2.3.1 Pengujian Sifat Bahan

Tahapan tersebut dimulai dengan pengujian sifat bahan, yakni pemeriksaan bahan pengikat atau aspal, pemeriksaan agregat kasar, serta pemeriksaan agregat halus untuk menentukan karakteristik masing-masing bahan yang akan digunakan.

A. Pengujian Bahan Pengikat (Aspal)

Pemeriksaan bahan pengikat (aspal) meliputi pemeriksaan penetrasi aspal, pemeriksaan viskositas kinematis, pemeriksaan titik lembek aspal, pemeriksaan daktilitas, pemeriksaan titik nyala, pemeriksaan berat jenis aspal, pemeriksaan kehilangan berat (TFOT), dan pemeriksaan penetrasi setelah TFOT.

Tabel 4 Ketentuan untuk aspal keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60 - 70	Dilaporkan (1)	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan (2)	
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2434:2011	≥ 100	-	

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				PG70	PG76
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	≤ 2,2	
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991 atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)					
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8	≤ 0,8	
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) 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 PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 Mpa					
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)

Tabel di atas ini menunjukkan syarat-syarat untuk bahan aspal yang dapat digunakan untuk campuran beraspal berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan (Revisi 2).

B. Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat kasar meliputi pemeriksaan gradasi agregat kasar (analisa saringan), pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, pengujian abrasi dengan mesin los angeles, pemeriksaan kelekatan agregat terhadap aspal, pemeriksaan kepipihan dan kelonjongan, dan material lolos ayakan No. 200.

Tabel 5. 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	Campuran AC Modifikasi dan SMA 100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya 500 putaran		Maks. 30%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90
	Lainnya		95/90
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	SNI 8287:2016 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)

C. Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus meliputi pemeriksaan gradasi agregat halus (analisa saringan), pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, pengujian nilai setara pasir (sand equivalent test), dan pemeriksaan agregat lolos No. 200.

Tabel 6 Ketentuan agregat halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min 45
	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat		
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)

2.3.2 Perancangan Campuran

Perancangan proporsi campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) diperoleh dengan menggunakan metode coba-coba (*Trial and Error*) dengan memahami batasan gradasi yang disyaratkan dan memasukkan data sesuai spesifikasi yang disyaratkan.

Setelah diperoleh komposisi campuran dengan menggunakan metode coba-coba (*Trial and error*), kemudian dilakukan penimbangan sesuai dengan kadar aspal dan persentase tertahan pada masing-masing saringan. Setelah didapat komposisi agregat, dilakukan penggabungan agregat yang disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 7 Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal laston (AC)

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat		
		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1½"	37,5	-	-	100
1"	25	-	100	90 - 100
¾"	19	100	90 - 100	76 - 90
½"	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: Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)

2.3.3 Pembuatan Benda Uji

2.3.3.1 Benda Uji Kadar Aspal Optimum

Tahapan-tahapan dalam pembuatan Benda uji kadar aspal optimum yaitu :

1. Tahap I

Merupakan tahap persiapan untuk mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Untuk mendapatkan kadar aspal yang lebih mewakili maka

persentase aspal yang digunakan dalam campuran diambil terhadap berat kering agregat (setelah dioven).

2. **Tahap II**

Menentukan berat aspal penetrasi 60/70 sesuai dengan variasi kadar aspal yang akan digunakan. Variasi kadar aspal ditentukan berdasarkan kadar aspal rencana (P_b) yang diperoleh dari Persamaan (14), kemudian dibuat variasi kadar aspal yaitu $P_b-1.0\%$, $P_b-0.5\%$, P_b , $P_b+0.5\%$ dan $P_b+1.0\%$. Variasi tersebut kemudian dikonversikan menjadi persen terhadap berat total agregat. Berat masing-masing agregat sesuai dengan penentuan proporsi agregat (berat total agregat yaitu 1200 gr).

3. **Tahap III**

Campuran agregat yang telah ditimbang kemudian dituang ke dalam wajan lalu dipanaskan hingga mencapai suhu pada temperatur campuran (150 ± 20 °C). Kemudian aspal juga dipanaskan di wadah yang lain sampai mencapai suhu pencampuran 150 ± 20 °C. Setelah itu, menambahkan aspal yang telah ditimbang beratnya berdasarkan kadar aspal optimum (terhadap agregat) kemudian dicampur sampai homogen di wajan. Suhu selama pengadukan campuran aspal diusahakan tetap dipertahankan (150 °C), di mana hal ini dikontrol dengan termometer.

4. **Tahap IV**

Campuran aspal yang telah homogen dimasukkan ke dalam cetakan benda uji (*mould*) yang telah disiapkan dengan melapisi bagian bawah dan atas mould dengan kertas, kemudian campuran ditusuk-tusuk dengan spatula agar posisi agregat dapat saling mengikat.

5. **Tahap V**

Campuran dipadatkan dengan alat pemadat sebanyak 75 kali tumbukan untuk masing-masing sisinya. Selanjutnya benda uji didinginkan pada suhu ruang ± 24 jam, barulah dikeluarkan dari mould dengan bantuan ejektor. Kemudian memberikan tanda pengenal pada benda uji yang telah dingin sesuai dengan variasi kadar aspal, variasi persentase slag nikel, variasi perendaman dan lama perendaman.

2.3.3.2 Pengujian Marshall Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pengujian karakteristik campuran beton aspal dilakukan pada benda uji briket untuk memperoleh kadar aspal optimum dari berbagai variasi kadar aspal dan kadar slag nikel dengan cara sebagai berikut:

1. **Tahap I**

Menimbang dan mengukur tinggi benda uji (briket aspal) kering, kemudian merendam benda uji dalam air ± 24 jam pada suhu ruang.

2. **Tahap II**

Menimbang benda uji dalam air untuk mendapatkan berat isi (nilai kepadatan).

3. **Tahap III**

Untuk mendapatkan berat SSD, maka benda uji yang telah direndam sebelumnya, diangkat dan dikeringkan permukaannya dengan majun (kain lap) sampai mencapai keadaan kering permukaan jenuh, kemudian benda uji tersebut ditimbang.

4. **Tahap IV**

Benda uji direndam dalam bak perendaman dengan suhu 60 ± 0.5 °C selama 30-40 menit untuk mendapatkan benda uji sesuai dengan temperatur terpanas di lapangan.

5. Tahap V

Mengangkat benda uji dari bak perendaman dan melakukan uji Marshall untuk mendapatkan stabilitas dan flow. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat Marshall. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari *proving ring*, deformasi yang terjadi pada saat itu merupakan nilai flow yang dapat dibaca pada flow meternya. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji.

Hasil dari pemeriksaan di plot ke dalam grafik dan ditentukan batas kadar aspal yang memenuhi spesifikasi masing-masing parameter Marshall. Kadar Aspal Optimum ditentukan dengan mengambil nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran.

2.3.3.3 Benda Uji Dengan Variasi Kadar Slag Nikel dan Variasi Perendaman

Benda uji dibuat dengan kadar aspal optimum (KAO) dengan mensubstitusi agregat kasar menggunakan slag nikel (25% dan 50% terhadap berat agregat).

1. Tahap I

Menentukan berat slag nikel yang akan ditambahkan ke dalam campuran (variasi slag nikel yaitu 25% dan 50% dari berat agregat) dan berat aspal penetrasi 60/70 sesuai dengan kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan berat total agregat. Berat masing-masing agregat sesuai dengan penentuan proporsi agregat (berat total agregat yaitu 1200 gr).

2. Tahap II

Campuran agregat yang telah ditimbang kemudian dituang ke dalam wajan lalu dipanaskan hingga mencapai suhu pada temperatur campuran (150 ± 20 °C). Setelah itu, menambahkan aspal yang telah ditimbang beratnya berdasarkan kadar aspal optimum kemudian semua material dicampur sampai homogen di wajan. Suhu selama pengadukan campuran aspal diusahakan tetap dipertahankan (150 °C), di mana hal ini dikontrol dengan termometer.

3. Tahap III

Campuran aspal yang telah homogen dimasukkan ke dalam cetakan benda uji (mould) yang telah disiapkan dengan melapisi bagian bawah dan atas mould dengan kertas, kemudian campuran ditusuk-tusuk dengan spatula agar posisi agregat dapat saling mengikat.

4. Tahap IV

Campuran dipadatkan dengan alat pemadat sebanyak 75 kali tumbukan untuk masing-masing sisinya. Selanjutnya benda uji didinginkan pada suhu ruang ± 24 jam, barulah dikeluarkan dari mould dengan bantuan ejektor. Kemudian memberikan tanda pengenal pada benda uji yang telah dingin sesuai dengan variasi kadar aspal, variasi persentase slag nikel, variasi perendaman dan lama perendaman.

2.3.4 Pengujian Marshall Dengan Perendaman Air Tawar Selama 0,5 Jam, 1 Hari dan 7 Hari Untuk Benda Uji yang Menggunakan Slag Nikel

Pengujian karakteristik campuran aspal beton dilakukan pada benda uji briket untuk variasi kadar aspal dan kadar slag nikel dengan perendaman air tawar dengan cara sebagai berikut :

1. Tahap I

Menimbang dan mengukur tinggi benda uji (briket aspal) kering, kemudian merendam benda uji dalam air ± 24 jam pada suhu ruang.

2. Tahap II

Menimbang benda uji dalam air untuk mendapatkan berat isi (nilai kepadatan).

3. Tahap III

Untuk mendapatkan berat SSD, maka benda uji yang telah direndam sebelumnya, diangkat dan dikeringkan permukaannya dengan majun (kain lap) sampai mencapai keadaan kering permukaan jenuh, kemudian benda uji tersebut ditimbang.

4. Tahap IV

Benda uji direndam dalam bak perendaman menggunakan air tawar pada suhu 60°C dengan variasi perendaman selama 0.5 jam, 24 jam (1 hari) dan 168 jam (7 hari).

5. Tahap V

Mengangkat benda uji dari bak perendaman dan melakukan uji Marshall untuk mendapatkan stabilitas dan flow. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat Marshall. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari proving ring, deformasi yang terjadi pada saat itu merupakan nilai flow yang dapat dibaca pada flow meternya. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji.

2.3.5 Pengujian Marshall Dengan Perendaman Air Laut Selama 0,5 Jam, 1 Hari dan 7 Hari Untuk Benda Uji yang Menggunakan Slag Nikel

Pengujian karakteristik campuran aspal beton dilakukan pada benda uji briket untuk variasi kadar aspal dan kadar slag nikel dengan perendaman air laut (asin) dengan cara sebagai berikut :

1. Tahap I

Menimbang dan mengukur tinggi benda uji (briket aspal) kering, kemudian merendam benda uji dalam air $\pm$ 24 jam pada suhu ruang.

2. Tahap II

Menimbang benda uji dalam air untuk mendapatkan berat isi (nilai kepadatan).

3. Tahap III

Untuk mendapatkan berat SSD, maka benda uji yang telah direndam sebelumnya, diangkat dan dikeringkan permukaannya dengan majun (kain lap) sampai mencapai keadaan kering permukaan jenuh, kemudian benda uji tersebut ditimbang.

4. Tahap IV

Benda uji direndam dalam bak perendaman menggunakan air laut (asin) pada suhu 60°C dengan variasi perendaman selama 0.5 jam, 24 jam (1 hari) dan 168 jam (7 hari).

5. Tahap V

Mengangkat benda uji dari bak perendaman dan melakukan uji Marshall untuk mendapatkan stabilitas dan flow. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat Marshall. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari proving ring, deformasi yang terjadi pada saat itu merupakan nilai flow yang dapat dibaca pada flow meternya. Nilai stabilitas merupakan nilai

arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji.

2.4 Analisis Data

Berdasarkan Metode yang digunakan sebagai penguji campuran adalah metode Marshall, dimana dari pengujian Marshall tersebut didapatkan hasil-hasil yang berupa komponen-komponen Marshall, yaitu Stabilitas, *Flow*, *Void in Mix* (VIM), *Voids Filled Bitumen* (VFB), *Voids in Mineral Aggregate* (VMA), dan kemudian dapat dihitung Marshall Quotient.

Hasil - hasil yang berupa komponen Marshall dan Kinerja durabilitas dari hasil tersebut dapat dihitung dengan menggunakan dasar perhitungan pada BAB II, sehingga dari hasil tersebut dibuatkan grafik pengaruh lama rendaman menggunakan air tawar dan air laut (asin) terhadap karakteristik Marshall. Kemudian dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan dan saran dalam pengujian tersebut.

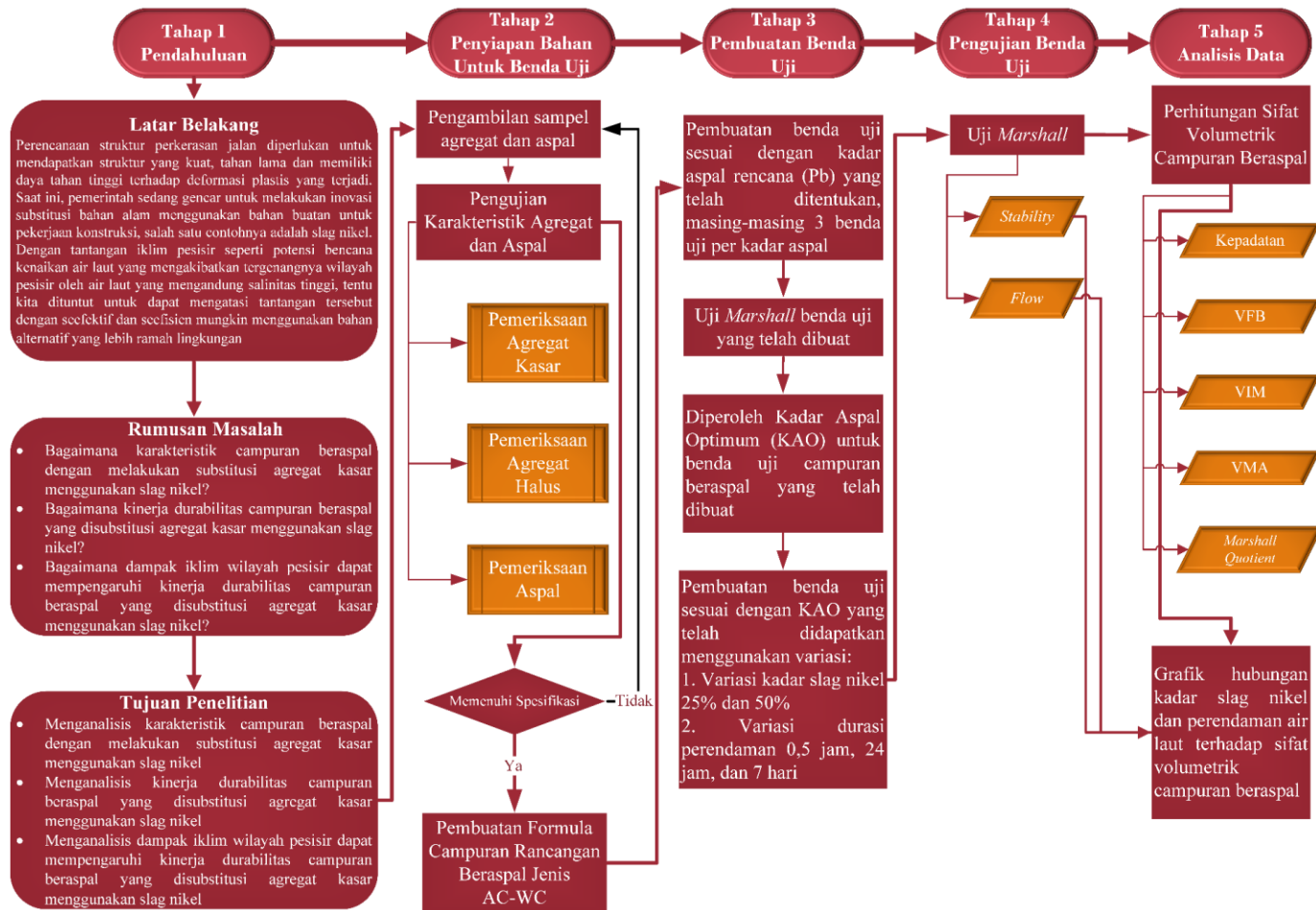
Tabel 8 Ketentuan sifat-sifat campuran laston (AC)

Sifat-sifat Campuran	Laston			
	Lapis Aus		Lapis Antara	Fondasi
Jumlah Tumbukan per Bidang			75	112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min.		0,6	
	Maks.		1,6	
Rongga dalam campuran (%)	Min,		3,0	
	Maks.		5,0	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.		2	
	Maks.		4	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60°C	Min		90	
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.		2	

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)

2.5 Bagan Alir Penelitian

Berdasarkan uraian sebelumnya, penelitian ini secara garis besar dibagi menjadi 5 tahap, yakni tahap pendahuluan, tahap penyiapan bahan untuk benda uji, tahap pembuatan benda uji, tahap pengujian benda uji, dan tahap analisis data, seperti pada yang dijelaskan pada gambar 10 berikut ini



Gambar 10 Bagan alir penelitian