

TUGAS AKHIR
ANALISIS SUBSTITUSI ABU CANGKANG KELAPA
SAWIT TERHADAP LAPIS ASPAL AC-BC

(Studi Penelitian)

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

DISUSUN OLEH :

WILDAN KHAIRI
1907210067



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Wildan Khairi
Npm : 1907210067
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Substitusi Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Lapis Aspal AC-BC.
Bidang Ilmu : Transportasi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan di terima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 4 September 2023

Dosen Pembimbing



M. Husin Gultom S.T., M.T

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Wildan Khairi

Npm : 1907210067

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Lapis Aspal AC-BC

Bidang Ilmu : Transportasi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan di terima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 4 September 2023

Mengetahui dan menyetujui: Dosen Pembimbing



M. Husin Gultom, ST. MT

Dosen Pembanding I



Dra. Indrayani M.Si

Dosen Pembanding I



Tondi Amirsyah Putera ST.MT

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Wildan Khairi
Tempat/ Tanggal Lahir : Batu Ging-Ging/ 29 Desember 2001
Npm : 1907210067
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Lapis Aspal AC-BC”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.



ABSTRAK

ANALISIS *SUBSTITUSI* ABU CANGKANG KELAPA SAWIT TERHADAP LAPIS ASPAL AC-BC

Wildan Khairi

1907210067

M. Husin Gultom, ST.MT

Transportasi merupakan perpindahan manusia atau barang dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menggunakan kendaraan yang digerakkan oleh manusia atau mesin. Transportasi digunakan untuk memudahkan manusia dalam menjalani aktivitas sehari-hari. Jalan merupakan akses penting dalam transportasi masyarakat. Setiap dalam kehidupan sehari-hari hanya menggunakan alat transportasi untuk menempuh suatu tempat tertentu. Dalam hal teknis, Indonesia merupakan negara dengan kekayaan alam yang luar biasa melimpah. Dari Sumatera hingga Papua, penuh dengan perkebunan sawit. Maka dari itu dalam penelitian ini, dicoba untuk menggunakan variasi *Substitusi* berupa Abu Cangkang Kelapa Sawit sebagai *Substitusi* lapis aspal AC-BC. Jenis penelitian ini adalah *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit dalam campuran AC-BC dengan komposisi 2%, 4%, dan 6% dan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%. Hasil dari keseluruhan perhitungan bahwa abu cangkang kelapa sawit sebagai *Substitusi* pada Kadar Aspal Optimum 5,79% dan *Substitusi* 4% adalah komposisi paling efisien dengan nilai VMA 16,59, VIM 4,67, VFA 72,37, *Stability* 2,385, dan Flow 4,71. Dan hasil dari *Substitusi* Abu Cangkang 4% dengan kadar aspal optimum 5,79% pada campuran memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2.

Kata kunci: Abu Cangkang Kelapa Sawit, Lapisan AC-BC, Transportasi.

ABSTRACT
ANALISYS OF SUBSTITUTION OF PALM SHELL ASH FOR AC-BC
ASPHALT LAYERS

Wildan Khairi
1907210067
M. Husin Gultom, ST.MT

Transportation is the movement of people or goods from one place to another using vehicles driven by humans or machines. Transportation is used to facilitate humans in carrying out their daily activities. The road is an important access in public transportation. Everyone in everyday life only uses transportation to go to a certain place. In technical terms, Indonesia is a country with extraordinary natural wealth. From Sumatra to Papua, full of oil palm plantations. Therefore, in this research, an attempt was made to use a variation of substitution in the form of palm kernel shell ash as a substitute for the AC-BC asphalt layer. This type of research is Palm Oil Shell Ash Substitution in AC-BC mixture with compositions of 2%, 4%, and 6% and asphalt content of 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%. The results of the overall calculation show that palm shell ash as a Substitute at Optimum Asphalt Content of 5.79% and Substitution 4% is the most efficient composition with VMA values of 16.59, VIM 4.67, VFA 72.37, Stability 2.385, and Flow 4 .71. And the results of 4% Shell Ash Substitution with an optimum asphalt content of 5.79% in the mixture meet the 2018 Highways Specifications revision 2.

Keywords : *palm shell ash, AC-BC layer, Transportation*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis telah dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit terhadap Lapis Aspal AC-BC” ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Ijazah Sarjana pada Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar- besarnya kepada:

1. Bapak M. Husin Gultom, ST.MT selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan memberi saran demi kelancaran proses penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dra Indrayani M.Si selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membantu dan memberi saran demi kelancaran proses penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Tondi Amirsyah Putera, ST.MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu dan memberi saran demi kelancaran proses penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST. M.Sc. Ph. D selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rizky Efrida, ST.MT selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Kepada seluruh Staf Bapak/Ibu Dosen pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Kepada Ibunda Erhaini Purba dan Ayahanda Samsinur serta Abang, dan adik saya tercinta dan tersayang yang dengan tulus memberi doa dan dukungan baik secara moral maupun material, selama penulis menempuh pendidikan di fakultas teknik, program studi teknik sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kepada Perempuan paling spesial bagi penulis, setelah Ibunda tentunya. Perempuan yang biasa penulis panggil Bae, Terima Kasih telah meramaikan Bumi, UMSU, dan masa kuliah saya. Terima kasih untuk apapun itu, perempuan paling manis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan tefrima kasih dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Medan, 4 September 2023

Penulis

(Wildan Khairi)

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	
LEMBAR PENGESAHAN	
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS	
ABSTRAK	
<i>ABSTRACT</i>	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.5.1. Teoritis	3
1.5.1. Praktis	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Aspal	5
2.2 Agregat	10
2.2.1. Agregat Kasar	10
2.2.2. Agregat Halus	11
2.2.3. Bahan Pengisi (<i>filler</i>)	12
2.3 Berat Jenis (<i>Spesific Gravity</i>) dan Penyerapan	13
2.3.1. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	13
2.2.2. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	14
2.4. Gradasi Agregat Gabungan	15
2.5. Laston	16

2.6.	Abu Cangkang Kelapa Sawit	24
2.7.	Pengujian Marshall	24
2.7.1.	Cara Uji Marshall	25
BAB 3	METODE PENELITIAN	28
3.1.	Bagan Alir Penelitian	28
3.2.	Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.3.	Metode Penelitian	29
3.4.	Bahan dan Peralatan	30
3.4.1.	Bahan	30
3.4.2.	Peralatan	30
3.5.	Persiapan Material	34
3.6.	Pemeriksaan Bahan Campuran	35
3.6.1.	Pemeriksaan Terhadap Agregat	35
3.7.	Pembuatan Benda Uji	35
3.8.	Pengujian Dengan Alat <i>Marshall</i>	37
3.9.	Analisa dan Pembahasan	38
BAB 4	ANALISA DAN PEMBAHASAN	39
4.1	Pemeriksaan Aspal	39
4.2	Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat	39
4.3	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat	42
4.4	Hasil Pemeriksaan Terhadap Parameter Benda Uji	45
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65
	Daftar Pustaka	66
	Lampiran	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal	8
Tabel 2.2	Ketentuan Agregat Kasar	11
Tabel 2.3	Ketentuan Agregat Halus	12
Tabel 2.4	Gradasi Gabungan	15
Tabel 2.5	Batas batas bahan Gradasi Senjang	16
Tabel 2.6	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)	16
Tabel 2.7	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston Modifikasi (AC Mod)	17
Tabel 2.8	Angka Korelasi Beban	26
Tabel 3.1	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ca) 1 inch	30
Tabel 3.2	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ma) ½ inch	31
Tabel 3.3	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Pasir (<i>Sand</i>)	31
Tabel 3.4	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu (Fa)	32
Tabel 4.1	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat untudk Campuran Normal	40
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Berat Agregat yang diperlukan untuk Benda Uji Campuran Normal	41
Tabel 4.3	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat untudk Campuran Abu Cangkang 2%	41
Tabel 4.4	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar CA 1 inch	43
Tabel 4.5	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar MA ½ inch	43
Tabel 4.6	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus FA	44
Tabel 4.7	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir	45
Tabel 4.12	Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> Campuran Normal	47
Tabel 4.8	Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> Campuran dengan menggunakan bahan ganti/ <i>Substitusi</i> Abu Cangkang 4,5%, 5%,5,5%,6%,6,5%	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	28
Gambar 4.1	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat untuk Campuran Normal	40
Gambar 4.2	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat untuk Campuran Abu Cangkang 2%	42
Gambar 4.3	Grafik KAO Campuran Aspal Normal	47
Gambar 4.4	Grafik KAO Campuran Abu Cangkang 2%	48
Gambar 4.5	Grafik KAO Campuran Abu Cangkang 4%	49
Gambar 4.6	Grafik KAO Campuran Abu Cangkang 6%	49
Gambar 4.7	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan <i>Bulk Density</i> (gr/cc) Campuran Normal	50
Gambar 4.8	Grafik Hubungan antara <i>Substitusi</i> Abu Cangkang (%) dengan <i>Bulk Density</i> (gr/cc)	51
Gambar 4.9	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan <i>Stability</i> (kg) Campuran Normal	52
Gambar 4.10	Grafik Hubungan antara <i>Substitusi</i> Abu Cangkang (%) dengan <i>Stability</i> (kg)	52
Gambar 4.11	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan VIM (%) Campuran Normal	54
Gambar 4.12	Grafik Hubungan antara <i>Substitusi</i> Abu Cangkang (%) dengan VIM (%)	55
Gambar 4.13	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan VFA (%) Campuran Normal	57
Gambar 4.14	Grafik Hubungan antara <i>Substitusi</i> Abu Cangkang (%) dengan VFA (%)	57
Gambar 4.15	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) Campuran Normal	59
Gambar 4.16	Grafik Hubungan antara <i>Substitusi</i> Abu Cangkang (%) dengan VMA (%)	59
Gambar 4.17	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan <i>Flow</i> (mm) Campuran Normal	62
Gambar 4.18	Grafik Hubungan antara <i>Substitusi</i> Abu Cangkang (%) dengan <i>Flow</i> (mm)	62

DAFTAR NOTASI

AC	: <i>Asphalt Concrete</i>
AC-BC	: <i>Asphalt Concrete - Binder Course</i>
AC-WC	: <i>Asphalt Concrete - Wearing Course</i>
B _a	: Berat aspal beton padat di dalam air (gr)
B _k	: Berat kering aspal beton (gr)
B _j	: Berat uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gr)
C	: Berat kering (gr)
D	: Berat benda uji jenuh (gr)
E	: Berat benda uji dalam air (gr)
F	: Volume benda uji (cc)
G	: Nilai kepadatan (gr/cc)
G _a	: Berat jenis aspal (gr/cc)
G _{mb}	: Berat jenis <i>bulk</i> dari aspal beton padat (gr/cc)
G _{mm}	: Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)
G _{sb}	: Berat jenis curah (gr/cc)
G _{se}	: Berat jenis efektif agregat (gr/cc)
IKS	: Indeks Kekuatan Sisa (%)
KAO	: Kadar Aspal Optimum (KAO)
MQ	: <i>Marshall Quotient</i> (Kg/mm)
P	: Kalibrasi
P _a	: Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat (%)
P _s	: Kadar agregat (%)
S	: Nilai stabilitas (Kg)
VFA	: Rongga terisi aspal (%)
VIM	: Rongga Udara dalam Campuran (%)
VMA	: Rongga dalam agregat mineral (%)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan raya adalah jalur – jalur tanah di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran dan jenis konstruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan mudah dan cepat. (Clarkson H.Oglesby,1999).

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang menghubungkan satu daerah dengan daerah lain. Fungsinya antara lain untuk meningkatkan ekonomi masyarakat, karena dengan jalan beraspal yang baik dapat memperlancar mobilitas perjalanan seseorang untuk mengirim barang atau keperluan lainnya.

Di Indonesia sendiri masih banyak jalan jalan di kota-kota besar yang rusak dan retak berlubang, contohnya di daerah Medan. Medan merupakan ibu kota dari provinsi Sumatera Utara, Indonesia. Dalam pesatnya perkembangan kota di medan, tentu mempengaruhi kepadatan arus lalu lintas. Sehingga menyebabkan kerusakan pada jalan, dikarenakan adanya tekanan yang berlebih oleh kendaraan yang muatannya melebihi kapasitas kekuatan jalan tersebut.

Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk mengisi ketersediaan bahan campuran aspal yang dibuat. Penelitian tentang kombinasi aspal penetrasi 60/70 dengan penambahan abu cangkang kelapa sawit untuk melihat pengaruh yang terjadi pada kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air. Cangkang kelapa sawit merupakan limbah padat sawit hasil pemisahan dari pada inti sawit dengan menggunakan alat hidrocyclone separator yang dapat dimanfaatkan sebagai pengeras jalan atau dibuat arang, briket untuk industri. Penggunaan Agregat dalam campuran laston cukup mahal. Oleh karena itu, perlu adanya upaya untuk menekan pembiayaan dalam pemilihan bahan campuran sebagai alternatif yang lebih murah dengan kualitas yang memadai. Ditinjau dari segi ketersediaan dan manfaat dari kelapa sawit, limbah cangkang kelapa sawit ini mudah dan murah

didapat serta merupakan limbah yang cukup besar.

Penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai *substitusi* berdasarkan dari zat yang dikandungnya, dari hasil penelitian diperoleh zat yang dikandung yaitu kandungan silika, besi oksida, aluminium oksida, kalsium oksida, magnesium oksida, dan sulfat. Penggunaan abu cangkang kelapa sawit ini sangat efisien, karena bisa mengurangi *Fine Aggregate* (Abu Batu). Salah satu kandungan dari abu cangkang kelapa sawit sendiri dapat meningkatkan mutu beton yaitu *Silika* (SiO_2) sebanyak 61%. Sedangkan alasan pemilihan aspal penetrasi 60/70 adalah bagian dari aspal yang memiliki densitas (berat jenis) sebesar 1,0 gr/cm³.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi kadar substitusi abu cangkang kelapa sawit pada aspal AC-BC terhadap karakteristik marshall.
2. Berapa Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dibutuhkan pada masing masing penambahan variasi persentase 2%, 4%, 6% pengganti *substitusi* Abu cangkang kelapa sawit dalam campuran aspal panas untuk lapisan AC-BC.

1.3. Ruang Lingkup

Dalam penulisan penelitian ini, penulis harus memberikan batasan batasan agar pembahasan ini tidak meluas ruang lingkupnya dan untuk menghindari pembahasan pembahasan yang tidak diperlukan. Maka dari itu pembahasan hanya akan di fokuskan/di titik beratkan pada hal berikut :

1. Tinjauan terhadap karakteristik campuran terbatas pada pengamatan terhadap hasil pengujian *Marshall*.
2. Penggunaan abu cangkang sawit memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui pengaruh variasi kadar substitusi abu cangkang kelapa sawit pada aspal AC-BC terhadap karakteristik Marshall.
2. Mengetahui Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dibutuhkan pada masing masing penambahan variasi persentase 2%, 4%, 6% pengganti *substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit dalam campuran aspal panas untuk lapisan AC-BC.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dapat ditinjau dari :

1. Aspek keilmuan atau akademis
Penelitian ini erat hubungannya dengan mata kuliah material teknik. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberi wawasan yang luas serta memberikan pola pikir baru tentang aspal. Sehingga bisa memberikan inovasi inovasi baru yang lebih baik lagi.
2. Aspek Praktek
Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan pada jalan yang ada di Indonesia khususnya Medan, yang memiliki lalu lintas yang padat dan juga curah hujan yang tinggi.
3. Untuk memanfaatkan limbah abu cangkang sawit yang banyak sekali jumlahnya, dan juga meminimalisir pembuangan limbah.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini disesuaikan dengan sistematika yang telah ditetapkan sebelumnya, agar lebih mudah memahami isinya. Sistematika penulisan ini memuat hal sebagai berikut,

BAB. 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan pendahuluan yang menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB. 2 TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan bab yang menguraikan uraian beberapa teori yang diambil dari beberapa literatur yang relevan dari berbagai sumber bacaan. Yang mendukung analisa permasalahan yang berkaitan dengan Tugas Akhir Ini.

BAB. 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan lebih lanjut tentang metode yang dipakai dalam penelitian. Termasuk di dalamnya pengambilan data, langkah penelitian, analisa data, pengolahan data, dan bahan uji.

BAB. 4 ANALISA DATA

Berisikan pembahasan mengenai data data yang didapat dari pengujian, kemudian di analisis, sehingga diperoleh hasil perhitungan dan kesimpulan hasil mendasar.

BAB. 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan penutup yang berisikan tentang kesimpulan yang telah diperoleh dari pembahasan pada bab sebelumnya dan saran mengenai hasil penelitian yang dapat dijadikan masukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal

Aspal adalah bahan hidro karbon yang memiliki sifat melekat (adhesive), berwarna hitam kecoklatan, tahan terhadap air, dan visioelastis. Aspal sering juga disebut sebagai bitumen merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan lapis perkerasan lentur. Aspal berasal dari aspal alam (aspal buton) atau aspal minyak (aspal yang berasal dari minyak bumi). Berdasarkan konsistensinya, aspal dapat diklasifikasikan menjadi aspal padat, dan aspal cair. (Carin, Sund, and Lahkar 2018)

Aspal dapat diartikan sebagai material perekat berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh dari alam ataupun dari pengilangan minyak bumi. Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan pada suhu tertentu, dan kembali membeku jika temprature 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. (Ariana 2016)

2.1.1 Fungsi Aspal

Fungsi aspal antara lain adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengikat batuan agar tidak lepas dari permukaan jalan akibat lalu lintas (water proofing, protect terhadap erosi)
2. Sebagai bahan pelapis dan perekat agregat.
3. Lapis resap pengikat (prime coat) adalah lapisan tipis aspal cair yang diletakan di atas lapis pondasi sebelum lapis berikutnya.

4. Lapis pengikat (tack coat) adalah lapis aspal cair yang diletakan di atas jalan yang telah beraspal sebelum lapis berikutnya dihampar, berfungsi pengikat di antara keduanya.
5. Sebagai pengisi ruang yang kosong antara agregat kasar, agregat halus, dan filler.

2.1.2 Sifat Aspal

Aspal memiliki beberapa sifat diantaranya yaitu :

- a. Aspal memiliki sifat mekanis (Rheologic), yaitu hubungan antara tegangan (stress) dan regangan (strain) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, sebaliknya, jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat maka sifat aspal menjadi plastis (viscous).
- b. Aspal adalah bahan yang Thermoplastis, yaitu viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer begitu pula sebaliknya. Dari segi pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Akan tetapi dengan pemanasan yang berlebihan maka akan merusak molekul-molekul dari aspal, aspal menjadi getas dan rapuh.
- c. Aspal mempunyai sifat Thixotropy, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan dan regangan akan mengakibatkan aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.

(Yutomo 2019)

2.1.3 Jenis Aspal

Aspal yang digunakan sebagai bahan untuk pembuatan jalan terbagi atas dua jenis, yaitu :

- A. Aspal Alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di pulau buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti Trinidad. Aspal alam terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau. Menurut sifat kekerasannya dapat berupa:

- Batuan = Asbuton
- Plastis = Trinidad
- Cair = Bermuda

Menurut kemurniannya terdiri dari:

- Murni = Bermuda
- Tercampur dengan mineral = Asbuton + Trinidad

B. Aspal Buatan

Jenis aspal ini dibuat dari proses pengolahan minyak bumi, jadi bahan baku yang dibuat untuk aspal pada umumnya adalah minyak bumi yang banyak mengandung aspal. Jenis dari aspal buatan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Aspal keras digunakan untuk bahan pembuatan AC. Aspal yang digunakan dapat berupa aspal keras penetrasi 60 atau penetrasi 80 yang memenuhi persyaratan aspal keras. Jenis-jenisnya:
 - a. Aspal penetrasi rendah 40 / 55, digunakan untuk kasus: Jalan dengan volume lalu lintas tinggi, dan daerah dengan cuaca iklim panas.
 - b. Aspal penetrasi rendah 60 / 70, digunakan untuk kasus : Jalan dengan volume lalu lintas sedang atau tinggi, dan daerah dengan cuaca iklim panas.
 - c. Aspal penetrasi tinggi 80 / 100, digunakan untuk kasus : Jalan dengan volume lalu lintas sedang / rendah, dan daerah dengan cuaca iklim dingin.
 - d. Aspal penetrasi tinggi 100 / 110, digunakan untuk kasus : Jalan dengan volume lalu lintas rendah, dan daerah dengan cuaca iklim dingin.
2. Aspal Cair digunakan untuk keperluan lapis resap pengikat (prime coat) digunakan aspal cair jenis MC – 30, MC – 70, MC – 250 atau aspal emulsi jenis CMS, MS. Untuk keperluan lapis pengikat (tack coat) digunakan

aspal cair jenis RC – 70, RC – 250 atau aspal emulsi jenis CRS, RS. (Carin et al. 2018)

C. Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair dari pada 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 dibedakan atas:

1. Aspal emulsi anionik, yaitu aspal emulsi yang berion negatif.
2. Aspal emulsi kationik, yaitu aspal emulsi yang berion positif.
3. Aspal emulsi non-ionik, yaitu aspal emulsi yang tidak berion (netral).

(Yutomo 2019)

Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas :

1. Rapid settings (RS), aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat, dan aspal cepat padat dan mengeras kembali.
2. Medium Settings (MS)
3. Slow Settings (SS), jenis aspal emulsi yang paling lambat mengeras.

Tabel 2.1 menurut spesifikasi umum (Direktorat Jendral Bina Marga, 2018) revisi 2 bahan aspal untuk campuran beraspal.

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintesis	
				PG 70	PG 76
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 ras/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3.	Visikositas Kinematis 135 °C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	

Tabel 2.1: *Lanjutan*

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe Aspal Pen 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintesis	
				PG 70	PG 76
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽²⁾	
5.	Daktalitas pada 25 °C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6.	Titim 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 (SN1-06-2440-1991) 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.	Daktalitas pada 25°C (% semula)	SN1 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 ($G^* \sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Catatan :

1. Pengujian semua sifat-sifat harus dilaksanakan sebagaimana yang disyaratkan. Sedangkan untuk pengendalian mutu lapangan, ketentuan untuk aspal dengan penetrasi ≥ 50 adalah ± 4 (0,1 mm) dan untuk aspal penetrasi ≤ 50 adalah ± 2 (0,1 mm), masing masing dengan nilai penetrasi yang dilaporkan saat pengujian semua sifat keras aspal.
2. Pengujian semua sifat-sifat harus dilakukan sebagaimana yang disyaratkan. Sedangkan untuk pengendalian mutu lapangan, ketentuan

titik lembek adalah, $\pm 1^{\circ}$ C dari nilai titik lembek yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.

3. Viskositas diuji juga pada temperatur 100° C dan 160° C untuk tipe I. untuk tipe II pada temperature 100° C dan 170° C untuk menetapkan temperature yang akan ditetapkan.
4. Jika untuk pengujian viskositas tidak dilakukan sesuai dengan T201-15 maka hasil pengujian harus dikonversikan ke satuan cSt. (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

2.2 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya yang merupakan hasil alam maupun buatan (SNI No: 1737- 1989-F). Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan. (Jurnal 2018)

Selain itu agregat juga diklasifikasikan berdasarkan ukuran butirannya menurut spesifikasi umum (Direktorat Jendral Bina Marga, 2018) yaitu :

- a) Agregat kasar, yakni yang tertahan sampai saringan No. 4.
- b) Agregat halus, yakni yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200.
- c) Bahan pengisi atau *filler*, termasuk agregat halus yang sebagian lolos saringan No. 200. (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

2.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah komponen utama alam pembinaan struktur konkrit. Ia memainkan peranan yang penting dalam proses pembinaan struktur konkrit. Agregat kasar sendiri terdiri dari serpihan batu yang ukurannya melebihi 5 mm sehingga ukuran maksimum yang dibenarkan untuk kerja – kerja konkrit yang tertentu, biasanya tidak melebihi 50 mm. Agregat kasar biasanya diambil dari batu gunung, batu sungai (batu kali) dan hasil asmpingan proses penambangan. (Brier and lia dwi jayanti 2020)

Table 2.2: ketentuan Agregat Kasar spesifikasi umum (Direktorat Jendral Bina Marga, 2018) Revisi 2.

Pengujian		Metode penelitian	Nilai	
Kekekalan bentuk agregat		Magnesium Sulfat	SNI 2414:2008	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2414:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya.	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%	
Butir pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7519:2012	100/90
		Lainnya		95/90
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	ASTM D4791-10	Maks. 5%
		Lainnya		Perbandinga 1 : 5
Material Lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012		Maks. 1%

Catatan :

- a) 100/90 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.
- b) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar memiliki muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar memiliki muka bidang pecah dua atau lebih. (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

2.2.2. Agregat Halus

Agregat halus adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200. Agregat halus berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu.

Spesifikasi dari Agregat halus Agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh ASTM. Jika seluruh spesifikasi yang ada telah terpenuhi maka barulah dapat dikatakan agregat tersebut bermutu baik. Adapun spesifikasi tersebut adalah :

1. Susunan Butiran (Gradasi) Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka Fine Modulus. Melalui Fine Modulus ini dapat digolongkan 3 jenis pasir yaitu :
 - a. Pasir kasar : $2.9 < FM < 3.2$
 - b. Pasir sedang : $2.6 < FM < 2.9$
 - c. Pasir halus : $2.2 < FM < 2.6$

(Iii 1996)

Table 2.3:ketentuan Agregat halus (Direktorat Jendral Bina Marga,2018) Revisi 2.

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6887-2002	Min. 45%
Gumpalan lempung dan butir butir mudah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

2.2.3. Bahan Pengisi (*filler*)

Filler merupakan material pengisi dalam lapisan aspal. Bahan pengisi (*filler*) dalam campuran beton aspal adalah bahan yang 100% lolos saringan No. 100 dan paling kurang 75% lolos saringan No.200. Fungsi bahan pengisi (*filler*) yaitu untuk mengisi ruang antar agregat halus dan kasar. Sebagai pengisi antara agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan gesek serta penguncian antar butir yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran. Jika ditambahkan ke dalam laston, bahan pengisi akan menjadi suspensi, sehingga terbentuk mastik yang bersama-sama dengan laston mengikat partikel agregat.

Filler yang biasa disebut juga bahan pengisi dapat diperoleh dari hasil pemecahan batuan secara alami maupun buatan. Yang terdiri dari debu batu, kapur padam dan semen Portland, atau bahan non plastis lainnya. Bahan pengisi

harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu. (Korua, Kaseke, and Eisabeth 2015).

2.3 Berat Jenis (*Specific Gravity*) dan Penyerapan

Berat jenis suatu agregat merupakan perbandingan massa dari suatu campuran volume pada bahan terhadap massa air dengan volume yang sama pada temperature 20°C-25°C (68°-77°F). ada beberapa macam berat jenis yaitu :

- a. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*), perbandingan antara berat jenis satuan volume agregat terhadap berat di udara dan air suling bebas gelembung dalam volume dan temperature yang sama.
- b. Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), perbandingan antara berat dari satuan volume dari agregat terhadap berat di udara dan air suling bebas gelembung dalam volume dan temperature yang sama.
- c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*), perbandingan antara berat dari satuan volume pada bagian yang impermeable terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume dan temperature yang sama.

2.3.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Adapun alat dan prosedur sesuai dengan SNI 03-1969-1990. Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dihitung menggunakan rumus :

- Berat jenis kering (*Bulk specific gravity*)

Berat jenis kering (S_d) di hitung dengan menggunakan persamaan 2.1.

$$\text{Berat jenis kering } (S_d) = \frac{B_k}{B_j - B_a}$$

- Berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated surface dry*)

Berat jenis kering permukaan jenuh (S_s) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2.

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

- Berat jenis semu (*Apparent specific gravity*)

Berat jenis semu dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a}$$

- Penyerapan Air (*Absorsi*)

Penyerapan air (A_w) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4.

$$\text{Penyerapan air } (A_w) = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Ket :

B_k = Berat benda uji kering oven (gr)

B_j = Berat uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gr)

B_a = Berat uji dalam air (gr)

2.3.2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Adapun alat dan prosedur pengujian dilakukan sesuai dengan (SNI 03-1970-1990, 1990). Berat jenis dan penyerapan agregat halus dihitung dengan menggunakan rumus :

- Berat jenis kering (*Bulk specific gravity*)

Berat jenis kering (S_d) di hitung dengan menggunakan persamaan 2.5.

$$\text{Berat jenis kering } (S_d) = \frac{B_k}{B_j + 500 - B_a}$$

- Berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated surface dry*)

Berat jenis kering permukaan jenuh (S_s) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh } (S_s) = \frac{500}{B_j + 500 - B_a}$$

- Berat jenis semu (*Apparent specific gravity*)

Berat jenis semu dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_j + B_k - B_a}$$

- Penyerapan Air (*Absorsi*)

Penyerapan air (A_w) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8.

$$\text{Penyerapan air } (A_w) = \frac{500 - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Ket :

BK = Berat benda uji kering oven (gr)

B = Berat piknometer berisi air (gr)

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gr)

500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gr)

(SNI 03-1970-1990 1990)

2.4 Gradasi Agregat Gabungan

Menurut spesifikasi umum Bina Marga 2018 Revisi 2, gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas batas yang diberikan dalam table 2.4.

Tabel 2.4: Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal Spesifikasi Umum (Direktorat Jendral Bina Marga, 2018) Revisi 2.

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90-100
¾"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
⅜"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54

Tabel 2.4: *Lanjutan*

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos terhadap total agregat							
		Stone Matrix (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
No. 8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No. 30	0,60	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,30	10-15					9-22	7-20	6-15
No. 100	1,15						6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Tabel 2.5 Batas-batas bahan gradasi senjang Spesifikasi Umum (Direktorat Jendral Bina Marga, 2018) Revisi 2.

Ukuran Ayakan	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
% lolos no.8	40	50	60	70
% lolos no.30	Paling sedikit 32	Paling sedikit 40	Paling sedikit 48	Paling sedikit 56
% Kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

(Direktorat Jenderal Bina Marga 2018).

2.5 Laston

Lapis aspal beton (Laston) merupakan lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, (Tahir Dalimunthe and Ardan 2019)

Tabel 2.6 Ketentuan sifat-sifat campuran laston (AC) (Direktorat Jendral Bina Marga, 2018) Revisi 2.

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang			75	112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1.6		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		

Tabel 2.6: *Lanjutan*

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Rongga dalam agregat (VMA)(%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	800		1800 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min		2	3
	Maks		4	6 ⁽³⁾
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2		

Tabel 2.7 Ketentuan sifat-sifat campuran laston modifikasi (AC Mod) (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018) Revisi 2.

Sifat-Sifat Campuran		Lapisan Modifikasi		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan perbidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm 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 <i>Marshall</i> (kg)	Min	100		2250 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan /mm ⁽⁷⁾	Min	2500		

Catatan :

- 1) Penentuan VCAmix dan VCAdrc sesuai AASHTO R46-08 (2012).
VCAmix : *voids in coarse aggregate within compacted mixture.*
VCAdrc : *voids in coarse aggregate fraction in dry-rpdded condition.*
- 2) Pengujian draindown sesuai AASHTO T305-14.
- 3) Modifikasi Marshall.
- 4) Rongga dalam campuran dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (Gmm test, SNI 03-6893-2002).
- 5) Pengawas Pekerjaan dapat atau menyetujui AASHTO T283-14 sebagai alternatif pengujian kepekaan terhadap kadar air. Pengondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan. Nilai indirect Tensile Strength Retained (ITSR) minimum 80% pada VIM (Rongga dalam Campuran) $7\% \pm 0,5\%$. Untuk mendapatkan VIM $7\% \pm 0,5\%$, buatlah benda uji Marshall dengan variasi tumbukan pada kadar aspal optimum, misal 2x40, 2x50, 2x60 dan 2x75 tumbukan. Kemudian dari setiap benda uji tersebut, hitung nilai VIM dan buat hubungan antara jumlah tumbukan dan VIM. Dari grafik tersebut dapat diketahui jumlah tumbukan yang memiliki nilai VIM $7 \pm 0,5\%$, kemudian lakukan pengujian ITSR untuk mendapatkan *indirect Tensile Strength Ratio* (ITSR) sesuai SNI 6753:2008 atau AASHTO T283-14 tanpa pengondisian $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
- 6) Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), disarankan menggunakan petumbuk bergetar (*vibratory hammer*) agar pecahnya butiran agregat dalam campuran dapat dihindari. Jika digunakan penumbukan manual jumlah tumbukan per bidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 inch dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inch.
- 7) Pengujian Wheel Tracking Machine (WTM) harus dilakukan pada temperatur 60°C . Prosedur pengujian harus mengikuti seperti pada pada *Technical Guideline for Pavement Design and Construcion*, Japan Road Association (JRA 2005).

Lapis aspal beton (Laston) biasanya digunakan untuk lapis permukaan,

lapis perata dan lapis pengikat. Saat digunakan, ketiganya memiliki persyaratan campuran yang berbeda. Agregat yang digunakan biasanya memiliki gradasi rapat, dan memiliki rongga udara yang kecil antara agregat dan membutuhkan sedikit aspal. Kerusakan umum pada aspal beton biasanya dimulai dengan retakan pada perkerasan. Hal ini dikarenakan aspal beton memiliki rongga antar agregat yang kecil, sehingga jumlah aspal yang menutupi butiran agregat juga sedikit. Akibatnya aspal mudah teroksidasi, lapisan ini kurang kedap air sehingga aspal mudah lepas dari agregat menyebabkan lepasnya butir-butir.(Erni, Rifqi, and Amin 2021).

Rumus Rumus.

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan campuran beraspal untuk dapat menahan deformasi yang disebabkan oleh beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Nilai stabilitas diperoleh sesuai dengan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai yang stabil, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu di konversikan ke alat *Marshall*. Stabilitas dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$S = p \times q \times r \quad (2.9)$$

Keterangan:

S : Nilai stabilitas (kg)

P : kalibrasi

q : pembacaan dial marshall

2. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan merupakan suatu keadaan dimana campuran beraspal mengalami besarnya penurunan atau deformasi yang ditunjukkan setelah stabilitas mengalami penurunan. Nilai kelelehan ditunjukkan oleh jarum dial tepat setelah angka jarum dial pada stabilitas tidak bergerak lagi dan dinyatakan dalam millimeter.

3. Kepadatan

Kepadatan merupakan tingkat kerapatan campuran beraspal setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai kepadatan campuran beraspal maka semakin baik kepadatan campuran aspal tersebut, karena campuran beraspal juga akan memiliki daya dukung yang besar. Nilai kepadatan dihitung dengan rumus berikut:

$$g = \frac{c}{f} \quad (2.10)$$

$$f = d - e \quad (2.11)$$

Keterangan:

g : nilai kepadatan (gr/cc)

c : berat kering / sebelum direndam (gr)

d ; berat benda uji jenuh air (gr)

e : berat benda uji dalam air (gr)

f : volume benda uji (cc)

4. Rongga Udara (VIM)

VIM merupakan rongga kosong yang tersisa setelah campuran beraspal dipadatkan. Rongga udara dalam campuran beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$VIM = 100 \times \frac{Gmb}{Gmm} \% \text{ volume Bulk Beton aspal padat} \quad (2.12)$$

Keterangan :

VIM : Rongga udara dalam beton aspal padat, persen dari volume *Bulk* Beton aspal padat (%)

Gmm : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

5. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Marshall Quotient merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelahan. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal sangat kaku dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Sehingga rendahnya nilai MQ dapat berakibat alur dan *bleeding*. Berikut rumus menentukan *Marshall Quotient*:

$$MQ = \frac{\textit{stability}}{\textit{flow}} \quad (2.13)$$

Keterangan :

MQ : *Marshall Quotient* (kg/mm)

6. Rongga Antar Agregat (VMA)

VMA merupakan ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat dari campuran total, maka VMA dihitung dengan persamaan berikut:

$$VMA : (100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}) \% \quad (2.14)$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, persentase dari volume total (%)

Gsb : Berat jenis *Bulk* agregat (gr/cc)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

Gmb: Berat jenis *Bulk* agregat (gr/cc)

Atau jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat agregat, maka VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100+Pb} \quad (2.15)$$

Keterangan :

Pb : Aspal, persen berat agregat

Gmb: Berat jenis curah campuran padat

Gsb : Berat jenis curah agregat

7. *Void Filled With Asphalt (VFA)*

VFA merupakan persentase rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat.

Nilai VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VFA = \left(\frac{100 - (VMA - VIM)}{VMA} \right) \quad (2.16)$$

Keterangan :

VFA : volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA.

VMA : rongga dalam agregat dalam (persen volume curah).

VIM : rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume.

8. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan sisa dianalisis dari data-data hasil pengujian terhadap sifat-sifat mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji stabilitas Marshallnya dengan perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T1 dan kelompok kedua diuji setelah perendamannya pada suhu 60°C selama waktu T2. Kemudian ditentukan Indeks kekuatan Sisa (IKS) Marshallnya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$IKS : \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (2.17)$$

Keterangan :

IKS : Indeks kekuatan sisa (%)

S_1 : Nilai rata-rata stabilitas marshall setelah perendaman T1 menit.

S_2 : Nilai rata-rata stabilitas marshall setelah perendaman T2 menit.

9. Berat Jenis Maksimum Campuran (G_{mm})

G_{mm} merupakan berat jenis campuran aspal beton tanpa pori/udara yang diperoleh dari pemeriksaan di laboratorium. G_{mm} dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) rata-rata sebagai berikut :

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{ps}{G_{se}} + \frac{pa}{G_a}} \quad (2.18)$$

Keterangan:

P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

P_a : Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat (%)

G_{se} : Berat jenis efektif agregat (gr/cc)

G_a : Berat jenis aspal (gr/cc)

10. Berat jenis bulk aspal beton padat (G_{mb})

G_{mb} dapat diukur dengan menggunakan:

$$G_{mb} = \frac{Bk}{B_{ssd} - B_a} \quad (2.19)$$

Keterangan :

G_{mb} : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Bk : Berat kering aspal beton (gr)

B_{ssd} : Berat kering permukaan dari aspal beton yang telah dipadatkan (gr)

(Erni et al. 2021).

2.6 Cangkang Sawit

Cangkang (tempurung atau endoskrap), kelapa sawit merupakan limbah padat sawit hasil pemisahan dari pada inti sawit dengan menggunakan alat hidrocyclone separator yang dapat dimanfaatkan sebagai pengeras jalan atau dibuat arang, briket untuk industri (Siregar,2008). Penggunaan Agregat dalam campuran laston cukup mahal. Oleh karena itu, perlu adanya upaya untuk menekan pembiayaan dalam pemilihan bahan campuran sebagai alternatif yang lebih murah dengan kualitas yang memadai. Ditinjau dari segi ketersediaan dan manfaat dari kelapa sawit, limbah cangkang kelapa sawit ini mudah dan murah didapat serta merupakan limbah yang cukup besar. penelitian bermanfaat untuk mengetahui efisiensi penggunaan limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan substitusi agregat kasar dalam campuran laston. (Riyadi 2022)

Abu boiler kelapa sawit yang merupakan limbah dari sisa pembakaran cangkang dan serabut buah kelapa sawit di dalam dapur atau tungku pembakaran (boiler) dengan suhu 7000C sampai dengan 8000C. Abu cangkang sawit tersebut merupakan salah satu material sisa dari proses pengolahan yang selama ini dianggap sebagai limbah. Limbah tersebut masih belum dimanfaatkan secara maksimal penggunaannya. Namun setelah kemajuan teknologi abu cangkang sawit dapat dimanfaatkan dan tidak lagi menjadi limbah, dapat digunakan sebagai bahan untuk campuran beragam jenis produk seperti semen, bata tahan api dan metal matrix komposit. (TEMA 11 2018).

2.7 Metode Pengujian Marshall

VFWA adalah aspal yang berfungsi menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, atau dengan kata lain VFWA inilah yang merupakan persentase volume beton aspal yang menjadi film atau selimut aspal. Void In The Mix (VITM) adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton dipadatkan. VITM 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. stabilitas adalah

kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan bleeding. Marshall Quotient merupakan hasil bagi dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Nilai Marshall Quotient yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapis keras yang tinggi.

Alat Marshall adalah alat tekan yang dilengkapi dengan *paving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 Kn atau 5000 lbf dan Flowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci atau 10,2 cm dan tinggi 2,5 inci atau 6,35 cm seperti yang di tunjukan pada Gambar 2.2. (Mudjanarko and Suprayitno 2019)



Gambar 2.2 Alat Pengujian Marshall (Laboratorium PT. Adhi Karya)

2.7.1 Cara Uji Marshall

Menurut (SNI 06-2489 1991) cara uji dilakukan, sebagai berikut :

Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari bak perendaman atau oven sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.

1. Rendamlah benda uji dalam bak perendam (water bath) selama 30 – 40 menit dengan suhu tetap $60^{\circ}\text{C} (\pm 1^{\circ}\text{C})$ untuk benda uji yang menggunakan aspal padat, untuk benda uji yang menggunakan aspal cair masukkan benda uji ke dalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap $25^{\circ}\text{C} (\pm 1^{\circ}\text{C})$

2. Keluarkan benda uji dari bak perendam atau dari oven dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan
3. Pasang segmen atas di atas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji
4. Pasang arloji pengukur alir (flow) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (sleeve) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan
5. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji
6. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol
7. Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (stability) yang dicapai, untuk benda uji yang tebalnya tidak sebesar 63,5 mm, koreksilah bebannya dengan faktor perkalian yang bersangkutan dari Tabel 2.8.
8. Catat nilai alir (flow) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai.

Tabel 2.8 Angka Korelasi beban (Stabilitas) Direktorat Jendral Bina Marga, 2018. Revisi 2.

Isi Benda Uji (cm) ³	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Korelasi
200-213	25,4	5,56
214-225	27,0	5,00
238-250	30,2	4,55
251-264	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	33,3
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46,0	1,79

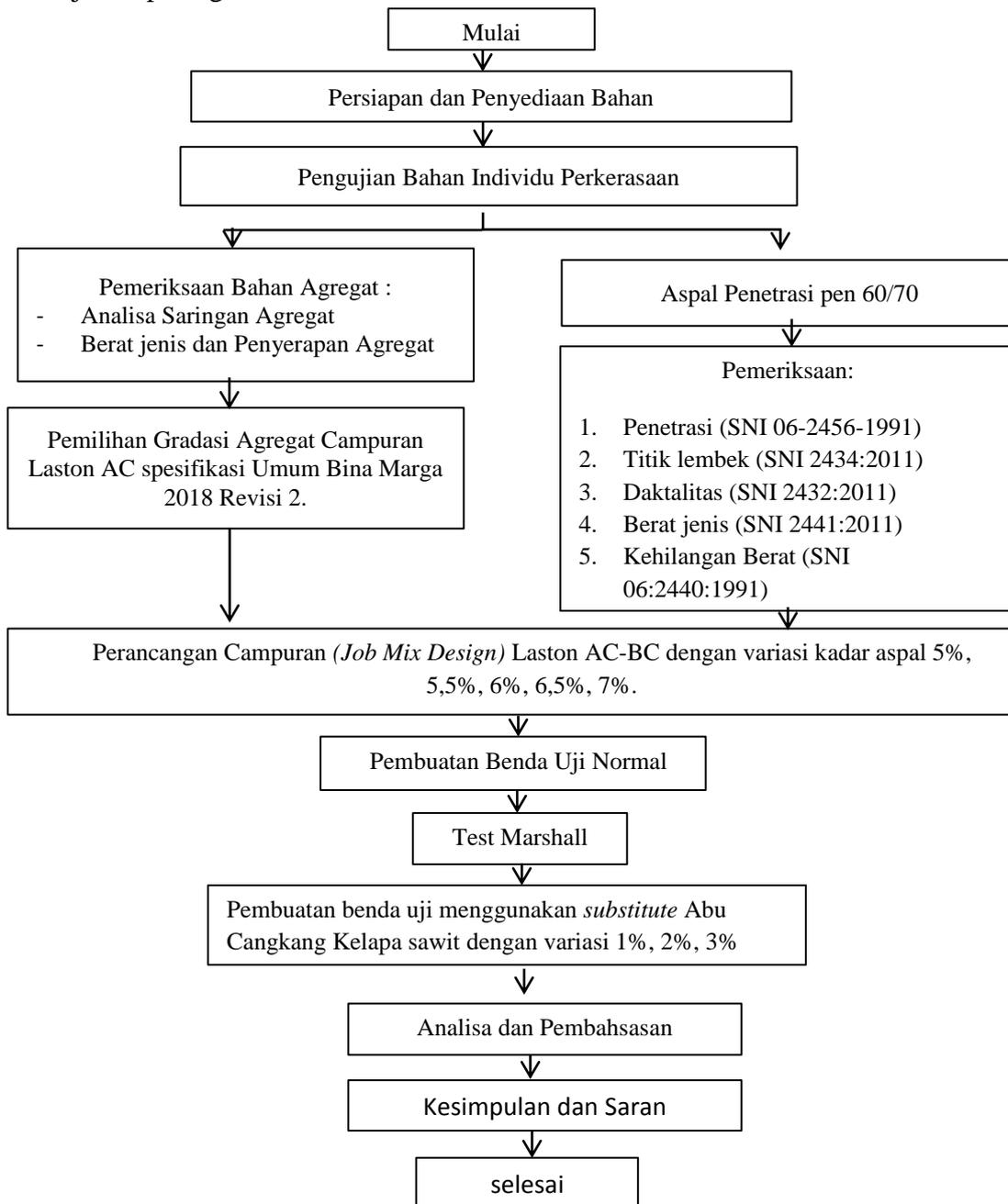
Tabel 2.8: *Lanjutan*

Isi Benda Uji (cm) ³	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Korelasi
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menyusun kegiatan secara sistematis yang dilakukan dengan tujuan untuk mengoptimalkan dalam perencanaan yang ditunjukkan pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1: Bagan Alir Penelitian

3.1.1. Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium, yaitu :

- a. Analisa saringan agregat.
- b. Berat jenis dan penyerapan.
- c. variasi penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit pada campuran aspal (Job Mix Design).
- d. Uji Marshall.

3.1.2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang didapat dari beberapa buku atau jurnal yang berhubungan dengan kontruksi jalan (literatur) dan didapat dari suatu perusahaan yang terkait. Data teknis mengenai Standar Nasional Indonesia serta buku-buku atau literatur merupakan penunjang guna memperkuat suatu penelitian yang akan di laksanakan.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium PT. Adhi Karya yang berlokasi di Lantasan Baru, Kecamatan Patumbak Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Penelitian ini dimulai pada bulan Januari 2023.

3.3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium PT. Adhi Karya, Lantasan Baru, Patumbak, Deli Serdang, Sumatera Utara. Tahap awal penelitian yang dilakukan di Laboratorium PT. Adhi Karya adalah pengambilan data sekunder mutu bahan aspal dan memeriksa agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran.

3.4. Bahan dan Peralatan

3.4.1. Bahan

Bahan yang diperlukan untuk pembuatan sample atau benda uji yaitu :

1. Aspal Pen 60/70
2. Agregat Kasar
3. Agregat Halus
4. Abu Cangkang Kelapa Sawit

3.4.2. Peralatan

Alat penelitian adalah semua benda yang akan dipakai untuk menunjang/mendukung pelaksanaan proses penelitian. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat-Alat Pengujian Agregat

- a. Satu set alat pengujian analisa saringan Satu set saringan adalah saringan yang digunakan dengan ukuran 37,5 mm (1,5"); 25,5 mm (1"); 19,1 mm (3/4"); 12,5 mm (1/2"); 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (No. 4); 2,36 mm (No. 8); 1,18 mm (No. 16); 0,600 mm (No.30); 0,300 mm (No.50); 0,150 mm (No.100); 0.075 mm (No.200). Semua saringan disusun berurutan dimulai dari ukuran saringan yang terkecil di posisi paling bawah sampai ukuran terbesar di posisi paling atas. Berikut hasil pemeriksaan analisa saringan.

Tabel 3.1: Hasil pemeriksaan agregat kasar analisa saringan (Ca) I Inch

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1 1/2"	37.5	100.00
1	25.4	100.00
3/4	19.1	36,23
1/2	12.7	63,77
3/8	9.5	0
No. 4	4.76	0

Tabel 3.2: Hasil pemeriksaan agregat kasar analisa saringan (MA) ½ Inch

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1	25.4	100.00
¾	19.1	100.00
½	12.7	100.00
3/8	9.5	97.59
No. 4	4.76	45.61
No. 8	2.88	28.37
No. 16	1.19	11.29
No. 30	0.595	8.10
No. 50	0.297	2.27
No. 100	0.15	1.28
No. 200	0.074	0.00

Tabel 3.3: Hasil pemeriksaan agregat halus analisa saringan pasir (Sand)

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1	25.4	100.00
¾	19.1	100.00
½	12.7	100.00
3/8	9.5	100.00
No. 4	4.76	67.60
No. 8	2.88	41.80
No. 16	1.19	24.80
No. 30	0.595	16.20
No. 50	0.297	11.80
No. 100	0.15	6.80
No. 200	0.074	2.40

Tabel 3.4: Hasil pemeriksaan agregat halus analisa saringan abu batu (FA)

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1	25.4	100.00
$\frac{3}{4}$	19.1	100.00
$\frac{1}{2}$	12.7	100.00
$\frac{3}{8}$	9.5	100.00
No. 4	4.76	97.14
No. 8	2.88	74.95
No. 16	1.19	47.19
No. 30	0.595	35.37
No. 50	0.297	20.73



Gambar 3.2 : Proyek pengayakan analisa saringan

- b. Satu set alat pengujian berat jenis dan penyerapan Satu set alat pengujian berat jenis dan penyerapan meliputi timbangan, oven, piring seng, alat uji SSD (Saturated Surface Dry) dan gelas ukur.

2. Alat Pengujian Marshall

- a. Tiga buah cetakan benda uji yang berdiameter 10,16 dan tinggi 7,62cm, lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
- b. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan :
 1. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm.
 2. Landasan pemadat terdiri dari balok kayu (jati atau yang sejenis) berukuran 20,32 x 20,32 x 45,72 cm dilapisi dengan pelat baja berukuran 30,48 x 30,48 x 2,54 cm dan dijangkarkan pada lantai beton di keempat bagian sudutnya.
- c. Alat pengeluaran benda uji :

Untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan benda uji dipakai sebuah alat ekstruder yang berdiameter 10 cm.
- d. Alat marshall lengkap dengan :
 1. Kepala penekan (breaking head) berbentuk lengkung.
 2. Cincin penguji (proving ring) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi arloji (dial) tekan dengan ketelitian 0,0025 m.
 3. Arloji pengukur alir (flow) dengan ketelitian 0,25 mm beserta perlengkapannya.
- e. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu yang mampu memanasi sampai 200°C ($\pm 3^\circ\text{C}$).
- f. Bak perendam (water bath) dilengkapi dengan pengatur suhu mulai 20 – 60°C ($\pm 1^\circ\text{C}$).
- g. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
- h. Pengukur suhu dari logam (metal thermometer) berkapasitas 250°C dan 100°C dengan ketelitian 1% dari kapasitas.
- i. Perlengkapan lain :
 1. Panci-panci untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran aspal;
 2. Sendok pengaduk dan spatula.
 3. Kompor atau pemanas (hot plate).

4. Sarung tangan dari asbes; sarung tangan dari karet dan pelindung pernapasan (masker).
5. Kantong plastic kapasitas 2 kg.

3.5. Persiapan Material

Pada dasarnya penelitian ini memiliki beberapa langkah dalam pengerjaannya. Diawali dengan menetapkan komposisi campuran yang akan digunakan, penyiapan material, pemeriksaan material, pembuatan benda uji. perawatan dan pengujian benda uji. Semua tahapan-tahapan penelitian diatas, mengacu pada standar peraturan pengerjaan aspal yang disesuaikan dengan kondisi laboratorium. Sebagian Langkah pemeriksaan material hanya dibatasi pada pemeriksaan karakteristik saja, karena dianggap penting dalam perhitungan komposisi campuran. Namun tidak semua material dapat diperiksa karakteristiknya. Tidak dilakukan pemeriksaan terhadap air dan material aditif.

Semua material (aspal, agregat) yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari tempat yang berbeda. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar (Split)
Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat alami yang dipecahkan (batu pecah), agregat kasar ini berasal dari PT. Adhi Karya.
2. Agregat halus
Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini yaitu pasir, agregat halus ini berasal dari PT. Adhi Karya.
3. Filler
Penelitian ini merupakan eksperimen dari pengganti filler yang dikombinasikan dengan aspal. Filler yang digunakan berupa Abu Cangkang Kelapa Sawit .
4. Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang terdapat di Laboratorium PT. Adhi Karya, Lantasan Baru, Patumbak, Deli Serdang, Sumatera Utara.

3.6. Pemeriksaan Bahan Campuran

Untuk mendapatkan campuran Laston AC-BC yang berkualitas ditentukan dari penyusunan campuran agregat. Bahan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sifat dan karakteristiknya.

3.6.1. Pemeriksaan Agregat

Agregat halus dan kasar yang berasal dari binjai tentunya juga dilakukan pemeriksaan yang dibuat untuk memenuhi standard agregat sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pemeriksaan agregat ini antara lain sebagai berikut :

1. Pemeriksaan gradasi agregat.
2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 1969-2016).
3. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970-2016).

3.7. Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji :

1. Keringkan agregat pada suhu 105°C – 110°C minimum selama 4 jam, keluarkan dari alat pengering (oven) dan tunggu sampai beratnya tetap.
2. Pisah-pisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan.
3. Panaskan aspal sampai mencapai tingkat kekentalan (viscositas) yang disyaratkan baik untuk pekerjaan pencampuran maupun pemadatan.
4. Untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 63,5 mm $\pm 1,27$ mm.

5. Menyiapkan bahan benda uji yaitu aspal, agregat kasar, agregat halus dan *filler* Abu Cangkang Kelapa Sawit yang sudah dimasukkan ke dalam plastik.
6. Tuang semua agregat ke dalam wajan.
7. Memanaskan agregat dan *filler* Abu Cangkang Kelapa Sawit di dalam wajan, sangrai sampai suhu 150°C.
8. Setelah semua bahan mencapai suhu yang telah di tentukan, kemudian aspal yang sudah di timbang dimasukan ke dalam campuran tersebut, aduk-aduk hingga campuran tercampur dengan merata. Suhu maksimal pencampuran bahan di tetapkan sekitar 160°C.
9. Menyiapkan cetakan benda uji (mould) beserta alas cetakan yang sudah diolesi dengan minyak pelumas dan dipanaskan. Kemudian menyiapkan kertas lakmus dibagian dasar cetakan atau diatas alas cetakan.
10. Memasukkan semua bahan yang sudah dicampur dengan suhu maksimal pencampuran ke dalam cetakan sembari ditusuk-tusuk dengan spatula agar campuran tersebut padat dan tidak banyak rongga di dalam campuran. Penusukan dengan alat spatula ini dilakukan dengan prosedur menusuk bagian pinggir dan bagian tengah sebanyak 10 kali.
11. Melakukan penumbukan pada campuran yang telah dimasukkan pada cetakan sebanyak 75 kali kemudian diganti permukaan lainnya sebanyak 75 kali.
12. Setelah dilakukan penumbukan, benda uji dikeluarkan dari cetakan menggunakan alat pengeluar benda uji.
13. Setelah benda uji dilepaskan dari cetakan kemudian diberikan tanda pengenal agar tidak tertukar dengan benda uji yang lainnya. Kemudian benda uji didiamkan hingga kering .
14. Setelah benda uji kering, kemudian dilakukan penimbangan pada masing-masing benda uji untuk mendapatkan nilai berat benda uji kering.
15. Benda uji kemudian direndam di dalam bak perendaman selama ± 24 jam.
16. Setelah direndam ± 24 jam, kemudian dikeluarkan dari bak perendaman lalu dilap menggunakan lap kering sampai benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan atau SSD.

17. Benda uji kemudian ditimbang untuk mendapatkan nilai dari berat SSD (saturated surface dry).
18. Setelah itu, benda uji ditimbang di dalam air untuk mendapatkan nilai berat dalam air.
19. Kemudian dilakukan pengujian dengan alat Marshall terhadap masing-masing benda uji.

3.8. Pengujian dengan Alat Marshall

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian Marshall antara lain sebagai berikut :

1. Merendam benda uji di dalam bak perendaman pada suhu 60°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) selama 30 – 40 menit.
2. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam (waterbath) dan letakkan benda uji di tengah pada bagian bawah kepala penekan dan alat pemasangan yang sudah lengkap tersebut diletakkan di tengah alat pembebanan.
3. Menaikkan kepala penekan hingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian mengatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.
4. Memberi pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm (2 inch) per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, untuk benda uji yang tebalnya tidak sebesar 63,5 mm, koreksilah bebannya dengan faktor perkalian yang bersangkutan dari Tabel Angka Korelasi Beban.
5. Mencatat nilai pelelehan (flow) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum (Stabilitas) tercapai.
6. Setelah pengujian selesai, benda uji dikeluarkan dari alat Marshall. Waktu yang diperlukan untuk mengeluarkan benda uji tidak boleh lebih dari 30 detik.
7. Lalu ukur diameter dan tebal benda uji setelah pengujian.

3.9. Analisa Dan Pembahasan

Sesuai dengan acuan pada penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini hanya difokuskan pada pembahasan mengenai pengaruh kualitas dari campuran aspal beton terhadap pengujian marshall dimana perhitungannya meliputi: kepadatan (density), VIM,VFA, VMA, Pelelehan (flow), Stabilitas dan MQ (marshall quotient).

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan untuk bahan ikat pada pembuatan benda uji campuran beton aspal dalam penelitian ini adalah aspal keras Pertamina Pen 60/70. Data hasil pemeriksaan karakteristik aspal yang telah dilakukan oleh perusahaan dan diuji di Laboratorium Pengujian Bahan Konstruksi Jalan dan Jembatan BPJN- Sumatera Utara, Dari hasil pemeriksaan Laboratorium yang diperoleh, aspal keras Pertamina Pen 60/70 memenuhi standart pengujian sebagai bahan ikat campuran beton aspal.

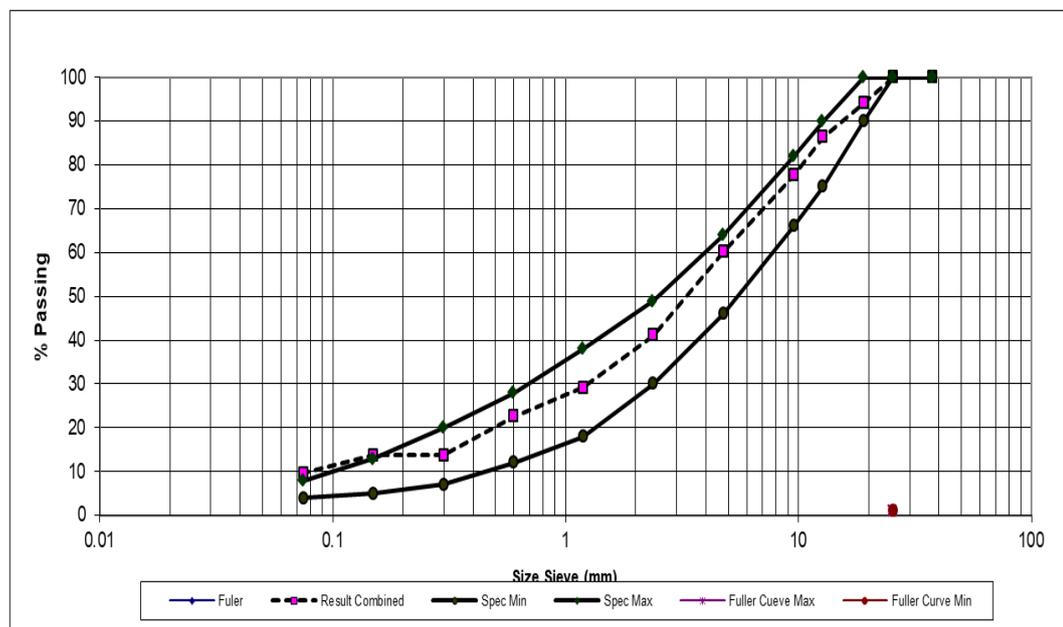
4.2 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat

Komponen utama pada pembuatan aspal beton adalah aspal dan agregat. Untuk menentukan suatu gradasi agregat pada lapisan Campuran AC-BC maka agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimal 1", ½", agregat halus adalah campuran batu pecah dengan pasir, sedangkan untuk bahan pengisi adalah abu batu dan plastik sebagai bahan penambah. Untuk mendapatkan aspal beton yang baik maka gradasi agregat harus memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018 dengan acuan (SNI-ASTM-C136-2012).

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk campuran AC-BC harus berada diantara batas atas dan bawah. Dari hasil analisis saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti Tabel 4.5.

Tabel 4.1: Hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran normal

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			1"	½"	Fa	Sand	semen	
			18%	37%	35%	8%	2%	
1 ½"	100	100	18	37	38	10	2,00	100
1"	100	100	18	37	38	10	2,00	100
¾"	90	100	6,52	37	38	10	2,00	94,08
½"	75	90	0,00	37	38	10	2,00	86,38
⅜"	66	82	0,00	36,25	38	10	2,00	77,56
No. 4	46	64	0,00	16,85	38	10	2,00	60,13
No. 8	30	49	0,00	10,46	22,52	10	2,00	42,98
No. 16	18	38	0,00	4,14	17,34	6,62	2,00	30,10
No. 30	12	28	0,00	2,95	13,39	4,55	2,00	22,89
No. 50	7	20	0,00	0,79	8,49	1,95	2,00	13,24
No. 100	5	13	0,00	0,43	6,84	0,47	1,89	9,62
No. 200	4	8	0,00	0,32	3,28	0,07	1,78	5,45



Gambar 4.1: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran normal.

Dari hasil pengujian analisis saringan maka didapat kombinasi gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018.

Data yang diperoleh pada campuran normal:

1. Agregat Kasar CA 1 inch = 18 %
2. Agregat Medium MA ½ inch = 37 %
3. Agregat Halus Abu Batu (FA) = 35 %
4. Agregat Halus (Sand) = 8 %
5. Semen = 2 %

Agregat dan Aspal untuk setiap benda uji diperlukan sebanyak 1200 gram, sehingga menghasilkan diameter benda uji 10 cm dan tinggi 7 cm.

Tabel 4.2: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji campuran normal.

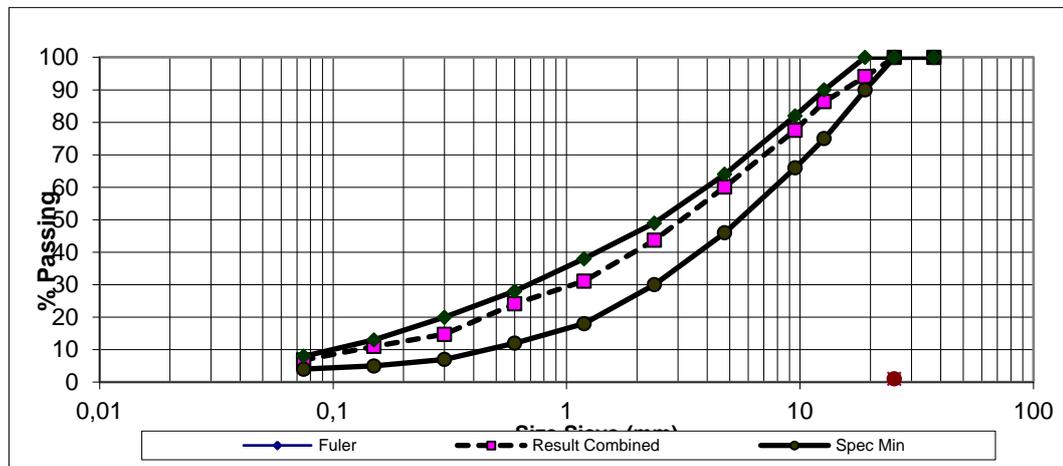
Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	1"	½"	FA	Sand	Semen
4,5%	54	206,28	424,02	401,1	91,68	22,92
5%	60	205,2	421,8	399	91,2	22,8
5,5%	66	204,12	419,58	396,9	90,72	22,68
6%	72	203,04	417,36	394,8	90,24	22,56
6,5%	78	201,96	415,14	392,7	89,76	22,44

Tabel 4.3 : Hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran Abu Cangkang 2%

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat						AVG
			1"	½"	Fa	Sand	Semen	Abu Cangkang	
			18%	37%	33%	8%	2%	2%	
1 ½"	100	100	18	37	33	8	2	2	100
1"	100	100	18	37	33	8	2	2	100
¾"	90	100	6,52	37	33	8	2	2	94,08
½"	75	90	0,00	37	33	8	2	2	86,38
⅜"	66	82	0,00	36,25	33	8	2	2	77,56
No. 4	46	64	0,00	16,85	33	8	2	2	60,13
No. 8	30	49	0,00	10,46	21,24	8	2	2	43,70

Tabel 4.3: *Lanjutan*

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat						AVG
			1"	½"	Fa	Sand	Semen	Abu Cangkang	
			18%	37%	33%	8%	2%	2%	
No. 16	18	38	0.00	4,14	16,35	6,62	2	2	31,11
No. 30	12	28	0.00	2,95	12,62	4,55	2	2	24,12
No. 50	7	20	0.00	0,79	8,01	1,95	2	2	14,75
No. 100	5	13	0.00	0,43	6,45	0,47	1,89	1,78	11,01
No. 200	4	8	0.00	0,32	3,09	0,07	1,78	1,59	6,85



Gambar 4.2: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran Abu Cangkang 2% .

4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

1. Berat jenis Agregat Kasar CA 1 inch

Dari percobaan yang dilakukan, di dapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat jenis curah $= \frac{2605}{2622-1616} = 2,59 \text{ gr}$

- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{2622}{2612-1616} = 2,61 \text{ gr}$

- Berat Jenis Semu $= \frac{2605}{2605-1616} = 2,63 \text{ gr}$

- Penyerapan $= \frac{2622-2605}{1616} \times 100\% = 0,65\%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian CA 1 inch dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar CA 1 Inch.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,59	2,59	2,59
Berat Jenis Kering Permudkaan Jenuh (Ss)	2,63	2,61	2,62
Berat Jenis Semu (Ss)	2,61	2,60	2,60
Penyerapan (Sw)	0,65	0,15	0,40

2. Berat jenis agregat kasar MA ½ Inch.

Dari percobaan yang dilakukan, didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{2330}{2352-1441} = 2,55 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{2352}{2352-1441} = 2,58 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{2330}{2330-1441} = 2,62 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{2352-2332}{2332} \times 100\% = 0,85\%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian MA ½ inch dapat dilihat pada tabel 4.9.

Table 4.5: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar MA ½ Inch.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,55	2,57	2,56
Berat Jenis Kering Permudkaan Jenuh (Ss)	2,62	2,64	2,63
Berat Jenis Semu (Ss)	2,58	2,60	2,59
Penyerapan (Sw)	0,85	0,99	0,92

3. Berat Jenis Agregat Halus FA

Dari percobaan yang dilakukan, didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{495,4}{1227+500-1532,6} = 2,54 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{500}{1227+500-1532,6} = 2,57 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{495,4}{1227+495,4-1532,6} = 2,61 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{500-495,4}{495,4} \times 100\% = 0,92\%$

Untuk hasil pengujian yang lebih lengkap, dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian FA pada tabel 4.10.

Tabel 4.6: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus FA.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,54	2,56	2,55
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Ss)	2,61	2,63	2,62
Berat Jenis Semu (Ss)	2,57	2,59	2,58
Penyerapan (Sw)	0,92	0,94	1,93

4. Berat Jenis Agregat Halus Pasir (Sand)

Dari percobaan yang dilakukan, didapat hasil perhitungan sampel 1 :

- Berat Jenis Curah $= \frac{492,4}{1226+500-1529,7} = 2,51 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{500}{1226+500-1529,7} = 2,55 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{492,4}{1226+492,4-1529,7} = 2,61 \text{ gr}$

- Penyerapan
$$= \frac{500-492,4}{492,4} \times 100\% = 1,54\%$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap, dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian pasir dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.7: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,51	2,51	2,51
Berat Jenis Kering Permudkaan Jenuh (Ss)	2,61	2,59	2,60
Berat Jenis Semu (Ss)	2,55	2,54	1,55
Penyerapan (Sw)	1,54	1,28	1,41

4.4 Hasil Pemeriksaan Terhadap Parameter Benda Uji

Nilai parameter *Marshall* didapat dari perhitungan terhadap hasil percobaan di Laboratorium. Berikut analisis untuk menghitung parameter pengujian *Marshall* pada campuran normal dengan kadar aspal 4,5 %:

- Persentase terhadap bantuan = 95,5%
- Persentase aspal terhadap campuran = 4,5%
- Berat sampel kering = 1185,0 gr
- Berat sampel jenuh (SSD) = 1192,3 gr
- Berat sampel dalam air = 687,0 gr
- Volume sampel = Berat SSD – Berat Dalam air
= 1192,3 – 687,0
= 505,3 cc
- Berat isi sampel
$$= \frac{\text{Berat Awal}}{\text{Volume Sampel}}$$

$$= \frac{1185,0}{505,3}$$

= 2,34 gr/cc
- Berat jenis maksimum
$$= \frac{100}{\frac{\%Agregat}{bj.Agregat} + \frac{\%Asphalt}{bj.Asphalt}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{100}{\frac{95,5}{2,593} + \frac{4,5}{1,020}} \\
&= 2,42 \% \\
\text{i. Persentase volume aspal} &= \frac{b \times g}{bj.Asphalt} \\
&= \frac{4,5+2,34}{1,020} \\
&= 6,70 \% \\
\text{j. Persentase volume agregat} &= \frac{((100-b) \times g)}{bj.Agregat} \\
&= \frac{((100-4,5) \times 2,34)}{2,593} \\
&= 86,18 \% \\
\text{k. Persentase rongga terhadap campuran} &= 100 - \left(\frac{100 \times g}{h} \right) \\
&= 100 - \left(\frac{100 \times 2,34}{2,42} \right) \\
&= 3,31 \% \\
\text{l. Persentase rongga terhadap agregat} &= 100 - \left(\frac{(100-b) \times g}{bj.agregat} \right) \\
&= 100 - \left(\frac{(100-b) \times g}{2,593} \right) \\
&= 13,82 \% \\
\text{m. Persentase rongga terisi aspal} &= 100 \times \left(\frac{i-k}{i} \right) \\
&= 100 \times \left(\frac{6,70-3,31}{6,70} \right) \\
&= 50 \% \\
\text{n. Pembacaan arloji stabilitas} &= 98 \\
\text{o. Kalibrasi proving ring} &= 98 \times 23,8 \\
&= 2.332,4 \\
\text{p. Stabilitas akhir} &= 2.332,4 + 0,316 \\
&= 2.333 \\
\text{q. Kelelahan} &= 2,50
\end{aligned}$$

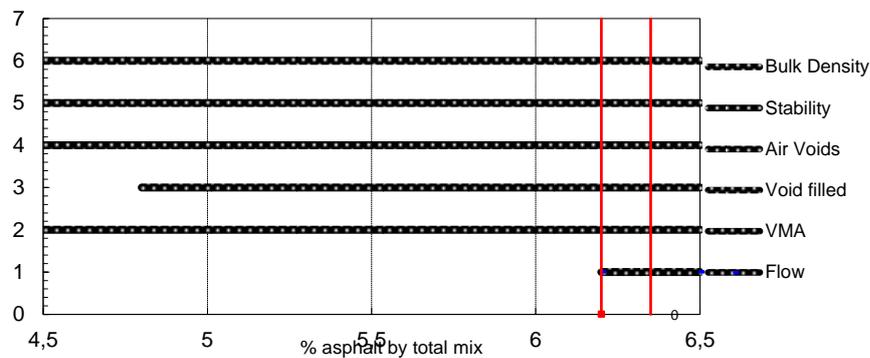
Untuk rekapitulasi perhitungan campuran normal serta penambahan *substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% dapat dilihat pada lampiran.

Dari hasil pemeriksaan uji *Marshall* yang dilakukan di Laboratorium PT.

Adhi Karya Patumbak di dapat nilai Berat Isi (*Bulk Density*), Stabilitas (*Stability*), Kelelehan (*Flow*), Persentase Rongga terhadap Campuran (*VIM*), Persentase Rongga terhadap Terisi Aspal (*VFA*), Persentase Rongga terhadap Agregat (*VMA*), dan *Marshall Quotient* (MQ). Berikut rekapitulasi hasil uji *marshall* pada campuran aspal normal dan penambahan *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

Table 4.8: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran normal.

Karakteristik	Kadar Aspal					Batas Spesifikasi Bina Marga 2018
	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	
Bulk Density (gr/cc)	2,299	2,278	2,240	2,257	2,241	-
Stability (kg)	2,494	2,345	2,134	2,275	2,376	Min 800
Flow (mm)	3,13	3,43	3,87	3,50	4,33	2-4
Air Voids (%)	4,02	4,21	5,16	3,75	3,80	3-5
Voids Filled (%)	69,27	70,81	68,92	76,97	78,10	Min 65
VMA (%)	13,0	14,2	16,5	16,3	17,3	Min 14



Gambar 4.3: Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal normal.

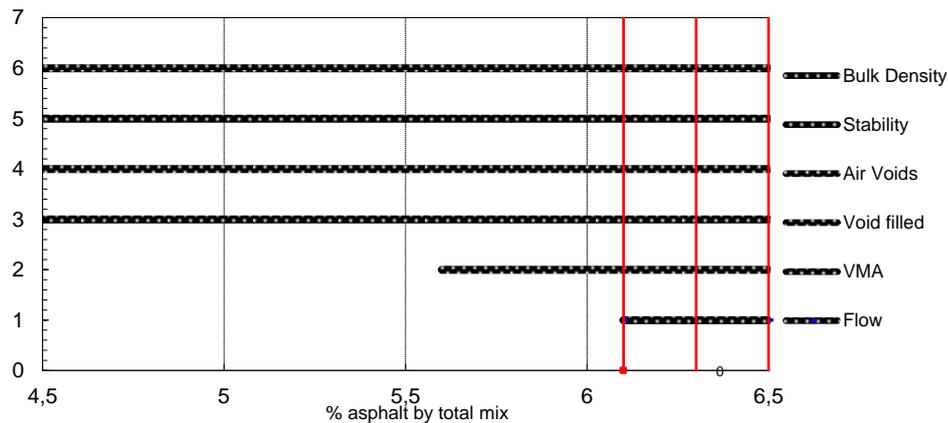
Kadar Aspal Optimum (KAO) Normal, di dapat dari kombinasi bahan yaitu:

- Ca I Inch : 18%
- MA ½ Inch : 37%
- Fa : 35%
- Sand : 8%
- Semen: : 2%

Tabel 4.9: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran dengan menggunakan bahan pengganti/*substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

Karakteristik	Abu Cangkang					Batas Spesifikasi Bina Marga 2018
	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	
Bulk Density (gr/cc)	2,299	2,278	2,240	2,257	2,241	-
Stability (kg)	2.494	2.345	2.134	2.275	2.376	Min 800
Flow (mm)	3,13	3,43	3,87	3,50	4,33	2-4
Air Voids (%)	4,02	4,21	5,16	3,75	3,80	3-5
Voids Filled (%)	69,27	70,81	68,92	76,97	78,10	Min 65
VMA (%)	13,0	14,2	16,5	16,3	17,3	Min 14
MQ	834	689	570	680	571	Min 250

Berdasarkan hasil uji *Marshall* diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dari campuran *Substitusi* Abu Cangkang variasi 2%, 4% dan 6%, yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 - 4.6 berikut ini.

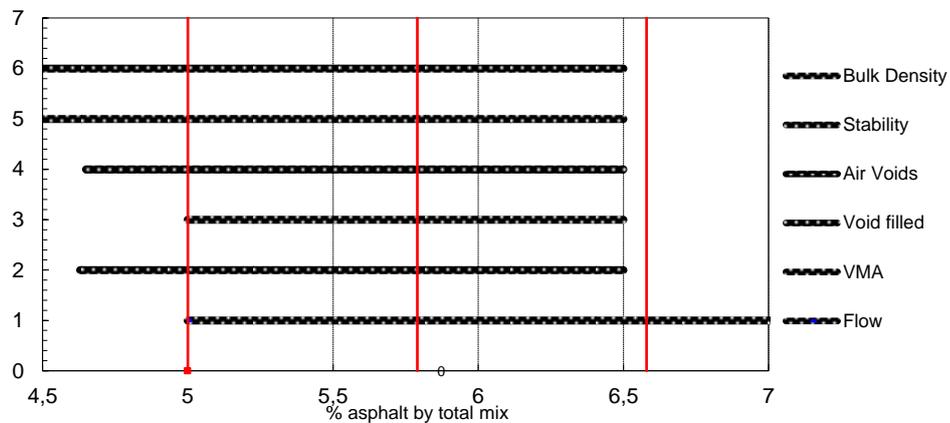


Gambar 4.4: Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) *Substitusi* Abu Cangkang Variasi 2% dengan nilai KAO 6,30%.

Hasil dari Kadar Aspal Optimum (KAO) *Substitusi* Abu Cangkang di dapat dengan melakukan uji coba pada kombinasi yaitu:

- Ca 1 Inch : 18%
- MA ½ Inch : 37%
- FA : 33%
- Sand : 8%
- Semen : 2%

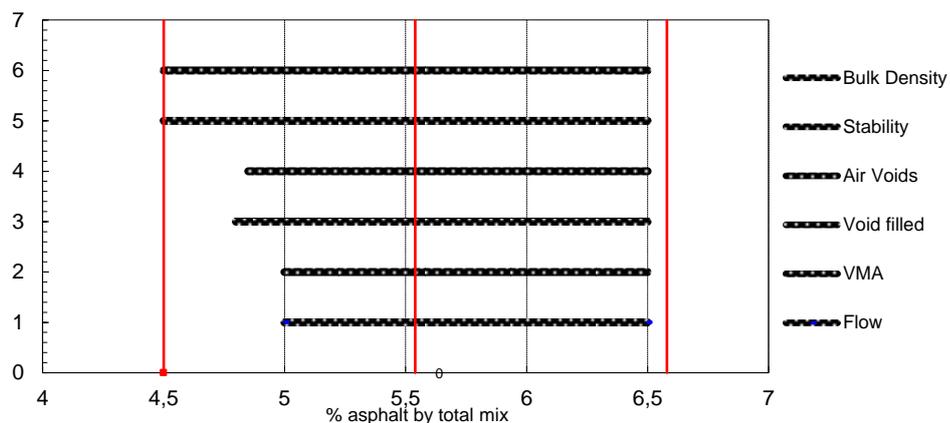
Abu Cangkang : 2%



Gambar 4.5: Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) *Substitusi* Abu Cangkang Variasi 4% dengan nilai KAO 5,79%.

Hasil dari Kadar Aspal Optimum (KAO) *Substitusi* Abu Cangkang 4% di dapat dengan melakukan uji coba pada kombinasi yaitu:

- Ca 1 Inch : 18%
- MA ½ Inch : 37%
- FA : 31%
- Sand : 8%
- Semen : 2%
- Abu Cangkang : 4%



Gambar 4.6: Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) *Substitusi* Abu Cangkang Variasi 6% dengan nilai KAO 5,54%.

Hasil dari Kadar Aspal Optimum (KAO) *Substitusi* Abu Cangkang 6% di dapat

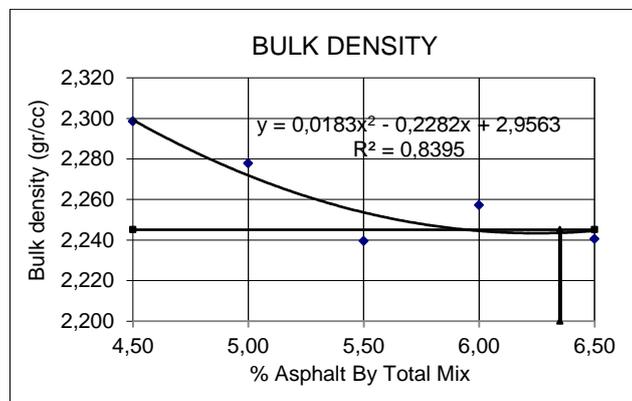
dengan melakukan uji coba pada kombinasi yaitu :

Ca 1 Inch : 18%
MA ½ Inch : 37%
FA : 29%
Sand : 8%
Semen : 2%
Abu Cangkang : 6%

Berikut grafik dari hasil nilai Berat Isi (*Bulk Density*), Stabilitas (*Stability*), Persentase Rongga terhadap Campuran (VIM), Persentase Rongga terhadap Terisi Aspal (*VFA*), Persentase Rongga terhadap Agregat (VMA), dan Kelelehan (*Flow*) untuk campuran aspal normal serta *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 2%, 4%, dan 6%,

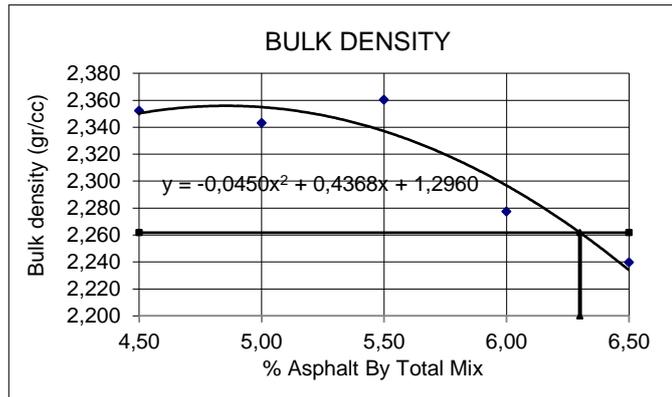
1. *Bulk Density* / Kepadatan massal

Hasil nilai *bulk density* pada aspal normal serta *Substitusi* Abu Cangkang 2%, 4% dan 6% dilihat pada gambar 4.7 – 4.10.



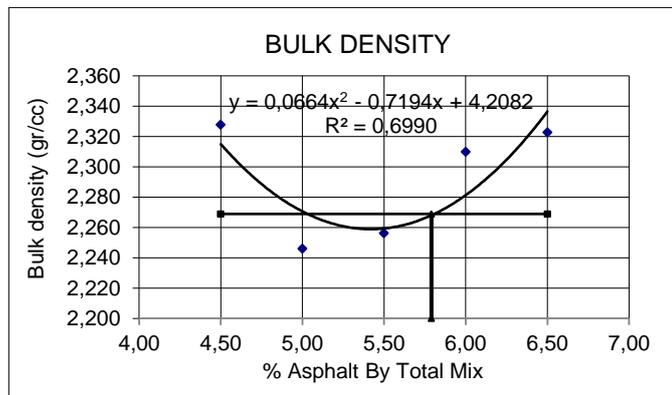
Gambar 4.7: Grafik hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) campuran normal.

Terlihat dari grafik diatas bahwa *Bulk Density* untuk campuran normal pada kadar aspal 4,5% kepadatan mencapai 2.300 gr/cc, 5% mencapai 2.282 gr/cc, 5,5% mencapai 2.240 gr/cc, 6% mencapai 2.261 gr/cc, dan 6,5% mencapai 2.242 gr/cc.



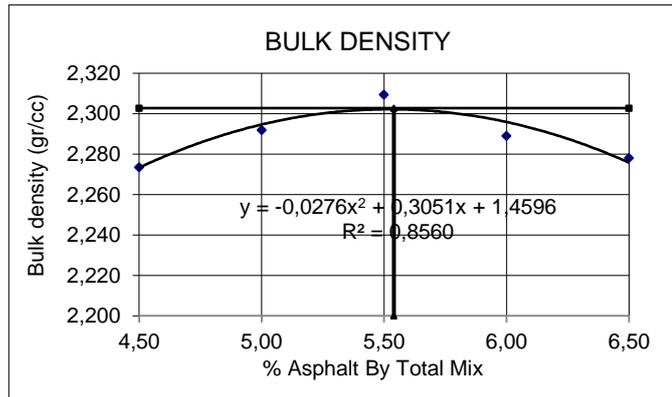
Gambar 4.8: Grafik hubungan antara *Substitusi* Abu cangkang 2% dengan *Bulk Density* (gr/cc).

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa *Bulk Density* untuk *Substitusi* Abu Cangkang 2% pada kadar aspal 4,5% kepadatan mencapai 2.350 gr/cc, 5% mencapai 2.340 gr/cc, 5,5% mencapai 2.360 gr/cc, 6% mencapai 2.281 gr/cc dan 6,5% mencapai 2.240 gr/cc.



Gambar 4.9: Grafik hubungan antara *Substitusi* Abu cangkang 4% dengan *Bulk Density* (gr/cc).

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa *Bulk Density* untuk *Substitusi* Abu Cangkang 4% pada kadar aspal 4,5% kepadatan mencapai 2.330 gr/cc, 5% mencapai 2.242 gr/cc, 5,5% mencapai 2.260 gr/cc, 6% mencapai 2.310 gr/cc, dan 6,5% mencapai 2.320 gr/cc.

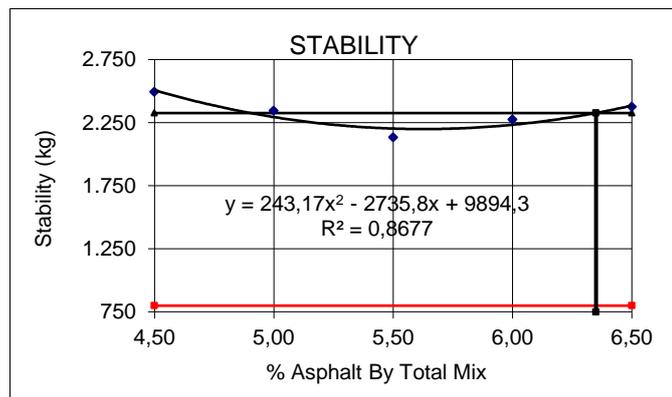


Gambar 4.10: Grafik hubungan antara *Substitusi Abu cangkang 6%* dengan *Bulk Density (gr/cc)*.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa *Bulk Density* untuk *Substitusi Abu Cangkang 6%* pada kadar aspal 4,5% kepadatan mencapai 2.285 gr/cc, 5% mencapai 2.290 gr/cc, 5,5% mencapai 2.310, 6% mencapai 2.290, dan 6% mencapai 2.278 gr/cc.

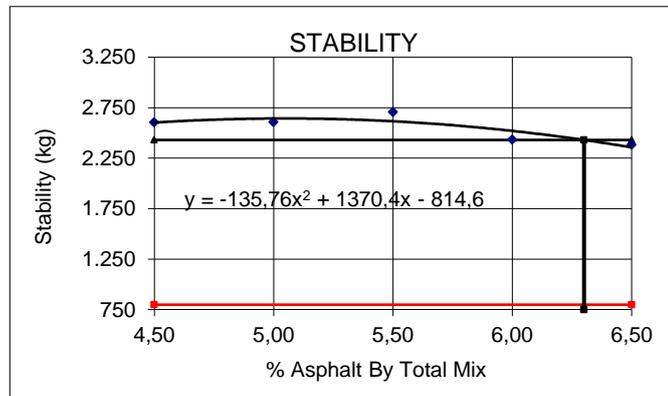
2. *Stability / Stabilitas*

Hasil dari nilai *Stability* pada aspal normal dan *Substitusi Abu Cangkang Kelapa Sawit 2%, 4%, dan 6%*. Seperti yang terlihat pada gambar 4.11-4.14.



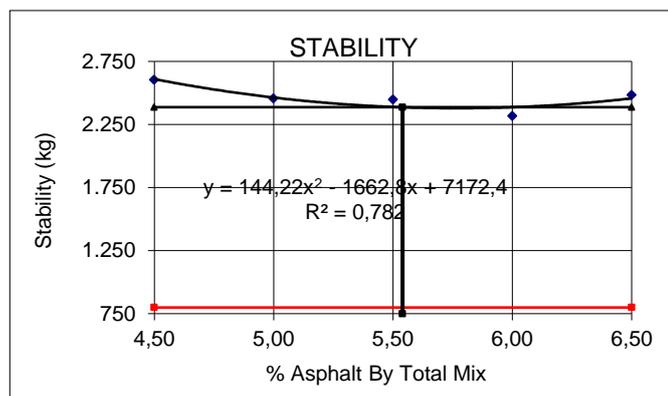
Gambar 4.11: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Stability (kg)* campuran normal.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa nilai *Stability* untuk campuran aspal normal pada kadar 4,5% mencapai 2.500 kg, 5% mencapai 2.300 kg, 5,5% mencapai 2.100 kg, 6% mencapai 2.200 kg, dan 6,5% mencapai 2.300 kg.



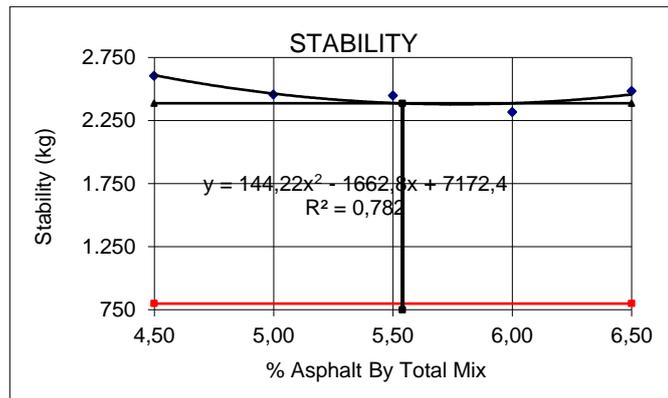
Gambar 4.12: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Stability* (kg) dan *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 2%.

Dapat dilihat dari grafik diatas, bahwa nilai *Stability* untuk campuran aspal *Substitusi* 2% pada kadar 4,5% mencapai 2.600 kg, 5% mencapai 2.590 kg, 5,5% mencapai 2.750 kg, 6% mencapai 2.300 kg, dan 6,5% mencapai 2.290 kg.



Gambar 4.13: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Stability* (kg) dan *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 4%.

Dapat dilihat dari grafik diatas, bahwa nilai *Stability* untuk campuran aspal *Substitusi* 4% pada kadar 4,5% mencapai 2.600 kg, 5% mencapai 2.500 kg, 5,5% mencapai 2.350 kg, 6% mencapai 2.270 kg, dan 6,5% mencapai 2.350 kg.

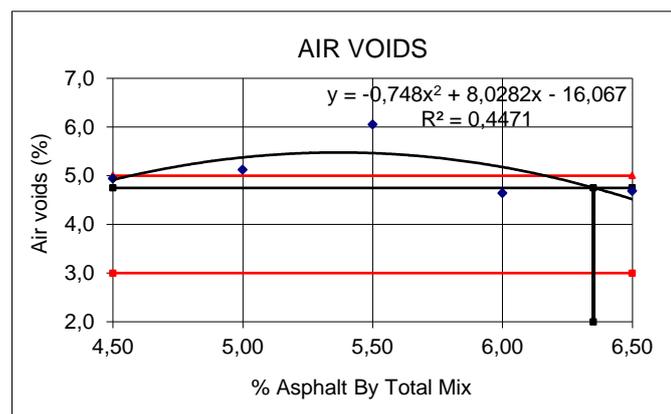


Gambar 4.14: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Stability* (kg) dan *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 6%.

Dapat dilihat dari grafik diatas, bahwa nilai *Stability* untuk campuran aspal *Substitusi* 2% pada kadar 4,5% mencapai 2.600 kg, 5% mencapai 2.590 kg, 5,5% mencapai 2.750 kg, 6% mencapai 2.300 kg, dan 6,5% mencapai 2.290 kg.

3. *Air Voids/ Void in Mix Marshall / Rongga* dalam campuran

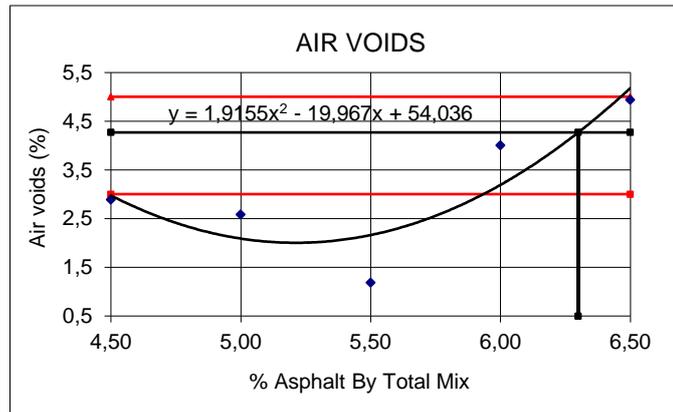
Hasil dari *Air Voids* pada aspal normal serta *Substitusi* Abu Cangkang kelapa sawit 2%, 4%, dan 6%. Terlihat pada Gambar 4.15-4.18.



Gambar 4.15: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Air Voids* (%) untuk campuran normal.

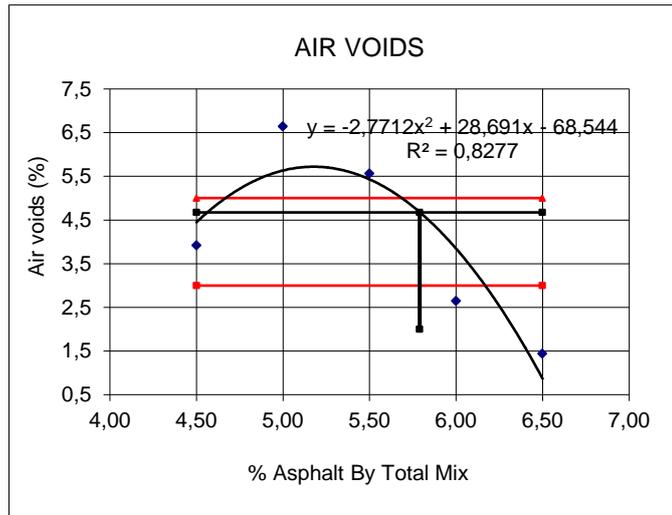
Dapat dilihat dari grafik diatas, bahwa nilai *Air Voids* untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 4,5% mencapai 4,9%, 5% mencapai 5%, 5,5% mencapai

6%, 6% mencapai 4,8% dan 6,5% mencapai 4,9%. Dengan melihat Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, maka dapat disimpulkan bahwa untuk kadar aspal 5,5% itu keluar dari spesifikasi tersebut. Karna untuk spesifikasi *Air Voids* ada di antara 3-5%.



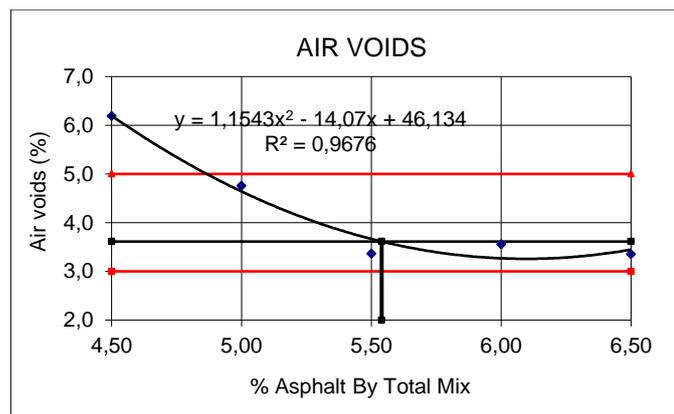
Gambar 4.16: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Air Voids* (%) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 2%.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Air Voids* pada campuran aspal *Substitusi* Abu Cangkang 2% pada kadar aspal 4,5% mencapai 4,4%, 5% mencapai 2,5%, 5,5% mencapai 1,4%, 6% mencapai 4,3% dan 6,5% mencapai 5%. Dapat disimpulkan bahwa, untuk kadar aspal 5% dan 5,5% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Karna untuk Spesifikasi *Air Voids* ada di antara 3-5%.



Gambar 4.17: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Air Voids* (%) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 4%.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Air Voids* pada campuran aspal *Substitusi* Abu Cangkang 4% pada kadar aspal 4,5% mencapai 4,%, 5% mencapai 6,5%, 5,5% mencapai 5,5%, 6% mencapai 2,6% dan 6,5% mencapai 4,5%. Dapat disimpulkan bahwa, untuk kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Karna untuk Spesifikasi *Air Voids* ada di antara 3-5%.



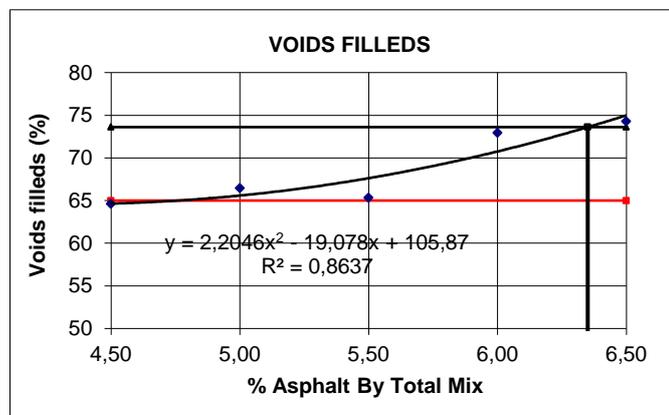
Gambar 4.18: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Air Voids* (%) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 6%.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Air Voids* pada campuran aspal *Substitusi* Abu Cangkang 6% pada kadar aspal 4,5% mencapai 6,2%, 5% mencapai

4,8%, 5,5% mencapai 3,4%, 6% mencapai 3,5% dan 6,5% mencapai 3,5%. Dapat disimpulkan bahwa, untuk kadar aspal 4,5% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Karna untuk Spesifikasi *Air Voids* ada di antara 3-5%.

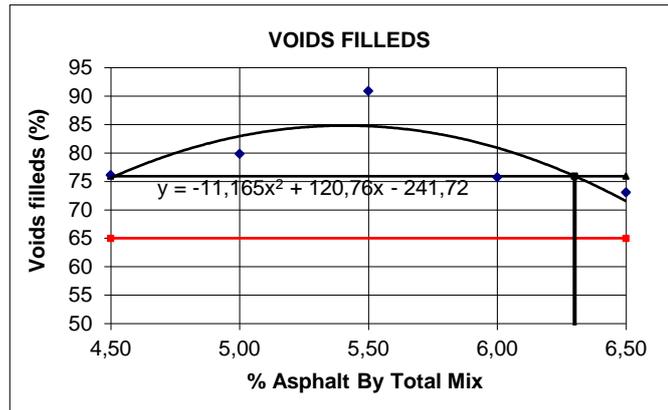
4. *Void Filled With Asphalt* / Rongga terisi aspal

Hasil nilai *Void Filled With Asphalt* (VFA) pada aspal normal dan *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 2%, 4%, dan 6%. Dilihat pada gambar 4.19-4.22.



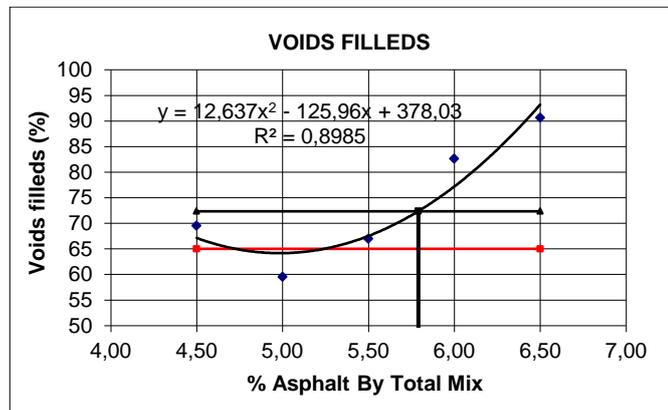
Gambar 4.19: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Void filled* (%) untuk campuran normal.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Voids Filleds* pada campuran aspal normal. Untuk kadar aspal 4,5% mencapai 65%, 5% mencapai 67%, 5,5% mencapai 65%, 6% mencapai 73% dan 6,5% mencapai 75%. Dapat disimpulkan bahwa, untuk campuran normal ini semua kadar aspal memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yang dimana batas minimum untuk *Air Voids* yaitu 65%.



Gambar 4.20: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Void Filled* (%) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 2%.

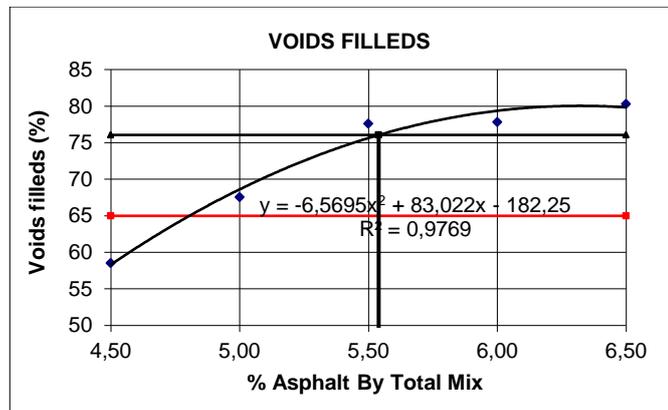
Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Voids Filled*s pada campuran aspal *Substitusi* Abu Cangkang 2%. Untuk kadar aspal 4,5% mencapai 75%, 5% mencapai 80%, 5,5% mencapai 90%, 6% mencapai 75% dan 6,5% mencapai 73%. Dapat disimpulkan bahwa, untuk campuran *Substitusi* Abu Cangkang ini semua kadar aspal memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yang dimana batas minimum untuk *Air Voids* yaitu 65%.



Gambar 4.21: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Void Filled* (%) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 4%.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Voids Filled*s pada campuran aspal *Substitusi* Abu Cangkang 4%. Untuk kadar aspal 4,5% mencapai 70%, 5% mencapai 60%, 5,5% mencapai 67%, 6% mencapai 82,5% dan 6,5% mencapai

90%. Dapat disimpulkan bahwa, untuk campuran *Substitusi* Abu Cangkang 4% ini kadar aspal 5% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yang dimana batas minimum untuk *Air Voids* yaitu 65%.

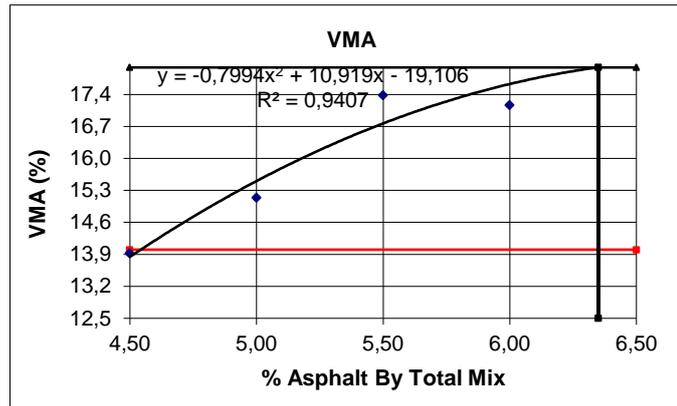


Gambar 4.22: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan *Void Filled* (%) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 6%.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Voids Filleds* pada campuran aspal *Substitusi* Abu Cangkang 6%. Untuk kadar aspal 4,5% mencapai 58%, 5% mencapai 68%, 5,5% mencapai 77,5%, 6% mencapai 77,5% dan 6,5% mencapai 80%. Dapat disimpulkan bahwa, untuk campuran *Substitusi* Abu Cangkang 4% ini kadar aspal 4,5% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yang dimana batas minimum untuk *Air Voids* yaitu 65%.

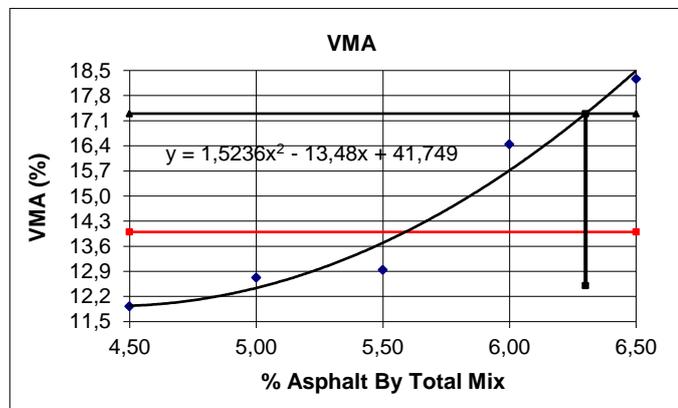
5. *Void In Mineral Aggregate* (VMA) / Volume Campuran Terkompres

Hasil VMA pada aspal normal dan *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 2%, 4%, dan 6%. Dapat dilihat pada gambar 4.23-4.26.



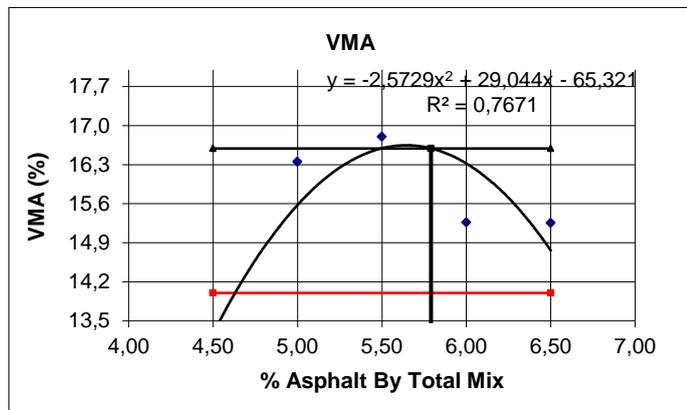
Gambar 4.23: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) untuk Campuran normal.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk campuran normal pada kadar aspal 4,5% mencapai 14%, 5% mencapai 15,1%, 5,5% mencapai 17,4%, 6% mencapai 17%, dan 6,5% mencapai 18%. Dari hasil tersebut maka semua kadar aspal memasuki Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dimana VMA memiliki nilai batas 14%.



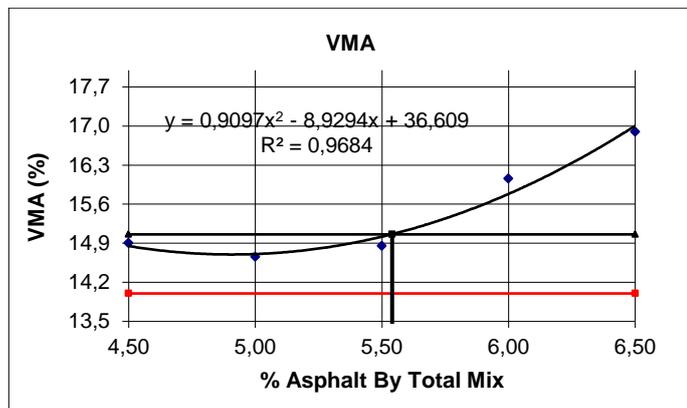
Gambar 4.24: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 2%.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk campuran *Substitusi* Abu Cangkang 2% pada kadar aspal 4,5% mencapai 12%, 5% mencapai 12,8%, 5,5% mencapai 12,9%, 6% mencapai 16,4%, dan 6,5% mencapai 18%. Dari hasil tersebut maka untuk kadar aspal 4,5%, 5%, dan 5,% tidak memasuki Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dimana VMA memiliki nilai batas 14%.



Gambar 4.25: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 4%.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk campuran *Substitusi* Abu Cangkang 4% pada kadar aspal 4,5% mencapai 16,5%, 5% mencapai 16,3%, 5,5% mencapai 16,5%, 6% mencapai 15,3%, dan 6,5% mencapai 15,3%. Dari hasil tersebut maka semua kadar aspal memasuki Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dimana VMA memiliki nilai batas 14%.



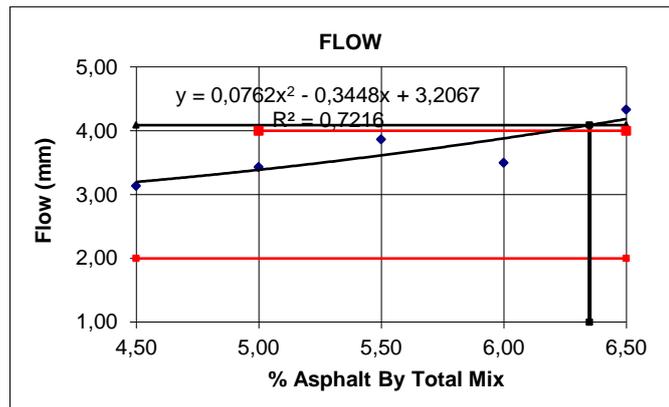
Gambar 4.26: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 6%.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk campuran normal pada kadar aspal 4,5% mencapai 14,9%, 5% mencapai 14,7%, 5,5% mencapai 14,8%, 6% mencapai 16%, dan 6,5% mencapai 16,9%. Dari hasil tersebut maka semua kadar aspal

memasuki Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dimana VMA memiliki nilai batas 14%.

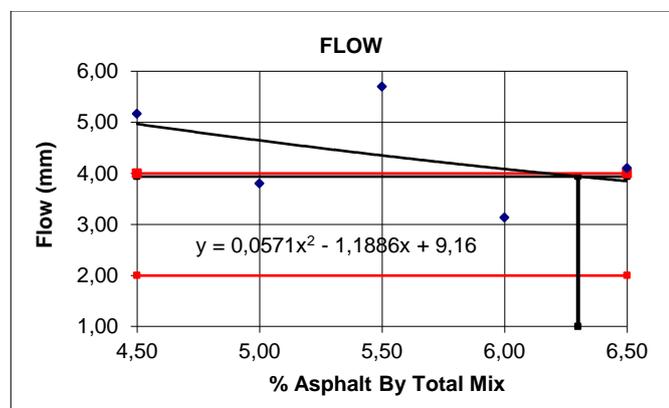
6. Flow / Kelelahan

Hasil Flow pada aspal normal dan *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 2%, 4%, dan 6%. Dapat dilihat pada Gambar 4.27-4.30.



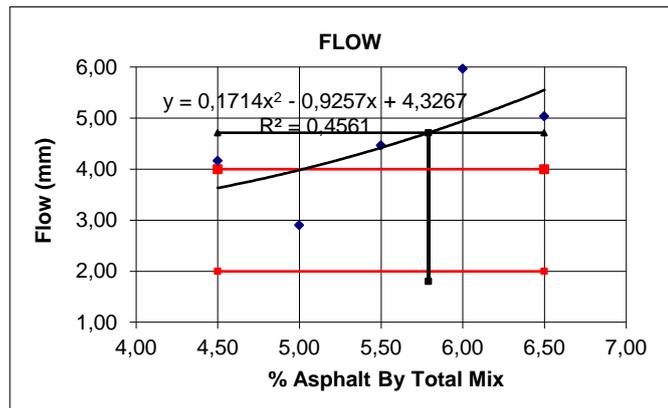
Gambar 4.27: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) untuk campuran normal.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Flow* pada campuran aspal normal untuk kadar aspal 4,5% mencapai 3,1 mm. 5% mencapai 3,5 mm. 5,5% mencapai 3,8 mm. 6% mencapai 3,5 mm dan 6,5% mencapai 4,2 mm. Dari hasil grafik diatas maka untuk kadar aspal 6,5% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Dimana batasan untuk *Flow* adalah 2-4 mm.



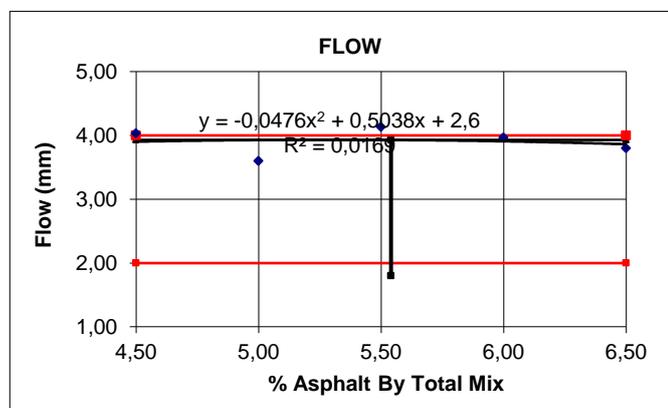
Gambar 4.28: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 2%.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Flow* pada campuran aspal *Substitusi* Abu Cangkang 2% untuk kadar aspal 4,5% mencapai 5,1 mm. 5% mencapai 3,9 mm. 5,5% mencapai 5,8 mm. 6% mencapai 3,1 mm dan 6,5% mencapai 4 mm. Dari hasil grafik diatas maka untuk kadar aspal 4,5% dan 5,5% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Dimana batasan untuk *Flow* adalah 2-4 mm.



Gambar 4.29: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) untuk *Substitusi* Abu Cangkang 4%.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Flow* pada campuran aspal *Substitusi* Abu Cangkang 4% untuk kadar aspal 4,5% mencapai 4,1 mm. 5% mencapai 2,9 mm. 5,5% mencapai 4,5 mm. 6% mencapai 6 mm dan 6,5% mencapai 5 mm. Dari hasil grafik diatas maka hanya kadar aspal 5% yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Dimana batasan untuk *Flow* adalah 2-4 mm.



Gambar 4.30: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) untuk *Substitusi Abu Cangkang 6%*.

Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa, untuk nilai *Flow* pada campuran aspal normal untuk kadar aspal 4,5% mencapai 4 mm. 5% mencapai 3,8 mm. 5,5% mencapai 4,1 mm. 6% mencapai 4 mm dan 6,5% mencapai 3,8 mm. Dari hasil grafik diatas maka untuk kadar aspal 5,5% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Dimana batasan untuk *Flow* adalah 2-4 mm.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)* dengan *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit 2%, 4%, dan 6%. Maka, kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah :

1. Dari hasil pengujian yang dilakukan, Karakteristik sifat *Marshall* pada campuran AC-BC yang menggunakan *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit variasi 2%, 4%, dan 6%. Berpengaruh baik seperti, *Bulk Density*, *Stability*, VIM, VMA, FA, dan *Flow*
2. Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dibutuhkan pada variasi 2% sebesar 6.30%. Variasi 4% sebesar 5,79%. Dan Variasi 6% sebesar 5,54%. Dan KAO yang paling baik untuk *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit ada di Variasi 6% yaitu 5,54%.

5.2 Saran

Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut mengenai *Substitusi* Abu Cangkang Kelapa Sawit pada *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* agar lebih banyak referensi yang didapat.

DAFTAR PUSTAKA

- Brier, Jennifer, and lia dwi jayanti. 2020. "No Title." 21(1):1–9.
- Carin, A. A., R. .. Sund, and Bhriugu K. Lahkar. 2018. Title." *Journal of Controlled Release* 11(2):430–39.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. "Spesifikasi Umum 2018." *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018* (Revisi 2):6.1-6.104.
- Erni, Dwi Susanti, Mirza Ghulam Rifqi, and M. Shofi'ul Amin. 2021. "Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC." *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology* 2(2):7–13. doi: 10.52158/jaceit.v2i2.67.
- Iii, B. A. B. 1996. "3Ts14421." 12–30.
- Jurnal, Redaksi Tim. 2018. "Analisis Pengaruh Besar Butiran Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal." *Forum Mekanika* 7(1):35–42. doi: 10.33322/forummekanika.v7i1.87.
- Korua, Windy J., Oscar H. Kaseke, and Lintong Eisabeth. 2015. "Kriteria Marshall Pada Campuran Lapis Aspal Beton-Lapis Antara Bergradasi Halus." *Jurnal Sipil Statik* 3(12):813–20.
- Mudjanarko, Sri Wiwoho, and Suprayitno. 2019. "Studi Analisis Uji Marshall Pada Pembuatan Campuran Aspal Plastik Jenis HDPE." *Spirit Pro Patria* 5(2):142–50.
- Riyadi, Lala. 2022. "Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Marshall Campuran Asphalt." 15.
- SNI 03-1970-1990. 1990. "Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus." *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia* 1–17.
- SNI 06-2489. 1991. "Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall." *Badan Standardisasi Nasional* (1):7.
- Tahir Dalimunthe, Muhammad Rasyad, and Melloukey Ardan. 2019. "Analisa Karakteristik Campuran Aspal Beton Dengan Filler Yang Berbeda Terhadap Nilai Marshall." *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation* 3(1):19. doi: 10.31289/jcebt.v3i1.2458.
- Yutomo, Cahyo. 2019. "Yaitu Hubungan Antara Tegangan (." (1982):4–12.

LAMPIRAN



Nomor : 024/AK-KWSM/EXT/VI/2023 Patumbak, 18 Juni 2023
Lampiran : -
Perihal : Konfirmasi Permohonan Pengambilan Data

Kepada Yth.
Bapak/Ibu Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Di -
Tempat.

Up : Bapak Muhammad Husin Gultom, ST., MT.

Assalamu' Alaikum Wr.Wb

Dengan Hormat,

Sesuai dengan surat No. 457/II.B-AU/UMSU-07/B/2023 tanggal 30 Mei 2023 Perihal Pengambilan data di PT. Adhi Karya (Persero) Tbk AMP Kawasan Medan, Maka dengan ini kami memberikan izin melakukan pengambilan data kepada mahasiswa yang tersebut dibawah ini:

Nama : Wildan Khairi
NPM : 1907210067
Fakultas: Teknik
Jurusan : Teknik Sipil
Alamat : Jl. Mukhtar Basri No.3 Medan

Dengan persyaratan bahwa mahasiswa tersebut harus mematuhi ketentuan perusahaan. Demikianlah di sampaikan kami ucapkan terima kasih.

PT. ADHI KARYA (Persero) Tbk
AMP-MEDAN


Ruklanto
Project Manager

Tembusan : Arsip

AMP MEDAN - PT. ADHI KARYA (Persero) Tbk, Departemen Infrastruktur I
Kantor : Jl. Perumahan Pasar V Ciq. Adhi Karya Pinabok Deli Serdang - Sumatera Utara

Gambar L.1: Surat izin Pengambilan Data



Gambar L.2: Alat dan Bahan uji.



Gambar L.3: Aspal Penetrasi 60/70



Gambar L.4: CA 1"



Gambar L.5: MA ½"



Gambar L.6: FA



Gambar L.7: Sand



Gambar L.8: Semen



Gambar L.9: Abu Cangkang Kelapa Sawit



Gambar L.10: Proses Pencampuran Benda Uji



Gambar L.11: Proses memasak material



Gambar L.12: Proses Pengayakan Benda Uji



Gambar L.13: Proses Penimbangan Benda Uji



Gambar L.14: Proses Penumbukan



Gambar L.15: Mencari Berat Isi Benda Uji



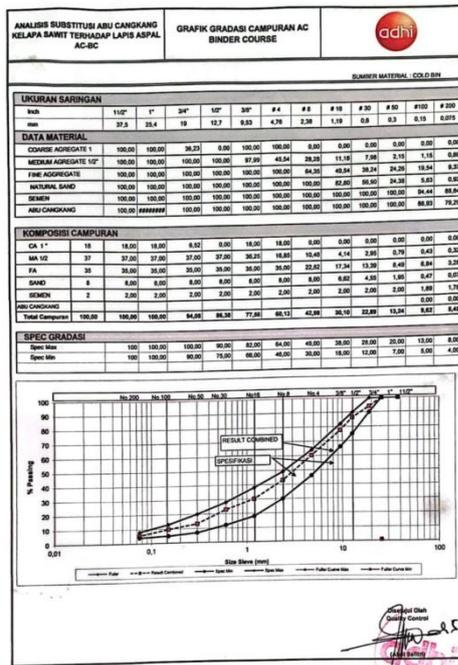
Gambar L.16: Proses Perendaman Waterbath



Gambar L.17: Proses *Marshall Compression*



Gambar L.18: Benda Uji



Gambar L.19: Grafik Benda Uji Normal

Analisis Substitusi Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Lapis Aspal AC-BC		adhi																															
PROPERTIES OF HIGH DURABILITY ASPHALT MIXES BY THE MARSHALL METHOD SNI 06 - 2489 - 1991																																	
Contoh Aspal Agregat Halus/Prov Tanggat	AC-BC 6070 23.8 x + 0.316	No Material 1 CA 1" 2 MA 1/2" 3 FA 4 Sand 5 Semen	<table border="1"> <tr> <th>Poros</th> <th>Bulk</th> <th>SSD</th> <th>Apparent</th> <th>Effektif</th> </tr> <tr> <td>18%</td> <td>2.583</td> <td>2.623</td> <td>2.623</td> <td>2.623</td> </tr> <tr> <td>37%</td> <td>2.559</td> <td>2.595</td> <td>2.626</td> <td>2.593</td> </tr> <tr> <td>39%</td> <td>2.548</td> <td>2.570</td> <td>2.611</td> <td>2.578</td> </tr> <tr> <td>8%</td> <td>2.570</td> <td>2.545</td> <td>2.602</td> <td>2.556</td> </tr> <tr> <td>2%</td> <td>2.643</td> <td>2.674</td> <td>2.727</td> <td>2.665</td> </tr> </table>	Poros	Bulk	SSD	Apparent	Effektif	18%	2.583	2.623	2.623	2.623	37%	2.559	2.595	2.626	2.593	39%	2.548	2.570	2.611	2.578	8%	2.570	2.545	2.602	2.556	2%	2.643	2.674	2.727	2.665
Poros	Bulk	SSD	Apparent	Effektif																													
18%	2.583	2.623	2.623	2.623																													
37%	2.559	2.595	2.626	2.593																													
39%	2.548	2.570	2.611	2.578																													
8%	2.570	2.545	2.602	2.556																													
2%	2.643	2.674	2.727	2.665																													
		<table border="1"> <tr> <th>By Aspal</th> <th>By Gething</th> </tr> <tr> <td>1,000</td> <td>2,550</td> </tr> <tr> <td>Eff</td> <td>2,585</td> </tr> </table>		By Aspal	By Gething	1,000	2,550	Eff	2,585																								
By Aspal	By Gething																																
1,000	2,550																																
Eff	2,585																																
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t														
1	4.7	4.5	1.195.5	1.154.2	680.0	518.2	2.230	2.418	10.124	85.968	5.084	14.012	63.908	3.986	68	2.333	2.344	2.50	518	0.51													
2	4.5	1.187.2	1.157.0	694.5	512.5	2.170	2.418	10.124	86.750	4.202	13.252	63.292	3.986	105	2.499	2.549	4.20	608	0.51														
3	4.5	1.182.2	1.152.2	675.5	517.5	2.094	2.418	10.071	84.369	5.560	14.480	61.602	3.986	109	2.585	2.591	2.70	560	0.51														
4	4.5	1.185.2	1.154.0	679.0	513.0	2.229	2.418	10.137	86.698	4.842	13.821	62.607	3.986	99	2.494	2.513	2.54	624	0.51														
1	5.3	5.0	1.185.2	1.154.0	679.0	513.0	2.402	2.402	11.321	86.066	3.771	13.324	72.317	4.489	89	2.118	2.154	3.20	679	0.51													
2	5.0	1.181.0	1.154.4	687.6	524.6	2.221	2.402	11.051	81.805	6.132	15.151	61.979	4.489	102	2.426	2.500	3.90	627	0.51														
3	5.0	1.183.2	1.152.6	672.7	525.9	2.122	2.402	11.133	81.501	5.366	15.381	63.063	4.489	107	2.547	2.518	3.20	786	0.51														
4	5.0	1.185.2	1.154.0	679.0	513.0	2.278	2.401	11.182	84.477	6.123	15.143	68.489	4.489	97	2.309	2.346	3.42	689	0.51														
1	5.8	5.5	1.170.3	1.153.0	652.0	531.0	2.204	2.384	11.879	81.671	7.348	18.329	58.619	4.951	94	2.238	2.185	3.30	682	0.51													
2	5.5	1.177.8	1.155.8	681.7	524.1	2.267	2.384	12.111	81.983	5.747	16.737	63.666	4.951	98	2.023	2.019	4.80	621	0.51														
3	5.5	1.179.0	1.157.0	668.0	518.1	2.208	2.384	12.224	82.910	4.866	17.090	71.229	4.951	85	2.023	2.134	2.87	670	0.51														
4	5.5	1.187.4	1.156.1	671.0	527.1	2.253	2.387	13.246	83.026	4.875	16.854	71.498	4.951	88	2.085	2.023	2.40	643	0.51														
1	6.0	1.176.1	1.157.2	664.0	522.7	2.261	2.387	13.195	82.964	4.915	17.014	71.146	4.951	99	2.267	2.313	4.40	526	0.51														
2	6.0	1.182.0	1.150.0	668.7	521.3	2.289	2.387	13.138	82.489	4.173	17.511	76.148	4.951	106	2.823	2.489	3.70	673	0.51														
3	6.0	1.187.2	1.152.6	667.7	521.3	2.287	2.387	13.272	82.850	4.841	17.178	72.918	4.951	99	2.578	2.500	3.20	690	0.51														
1	6.9	6.5	1.165.0	1.172.9	690.0	523.8	2.224	2.351	14.158	81.547	5.182	18.451	70.811	5.917	101	2.404	2.500	3.20	734	0.50													
2	6.5	1.172.2	1.161.9	690.0	521.9	2.247	2.351	14.111	82.370	4.427	17.330	74.811	5.917	107	2.547	2.507	4.70	533	0.50														
3	6.5	1.168.2	1.176.3	677.3	519.0	2.251	2.351	14.118	81.417	4.345	18.583	77.156	5.917	98	2.285	2.273	6.10	446	0.50														
4	6.5	1.182.2	1.175.3	677.3	519.0	2.241	2.351	14.272	81.778	4.689	18.222	74.293	5.917	98	2.278	2.423	6.71	671	0.50														

Keterangan
a = % aspal terhadap batuan
b = % aspal terhadap campuran
c = berat sample kering (gr)
d = berat sample jenuh (gr)
e = berat sample dalam air (gr)
f = volume sample (cc) = d - e
g = berat isi sample (gr/cc) = c/f

Gambar L.20: Data Benda Uji Normal

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Wildan Khairi
Nama Panggilan : Wildan
Tempat, Tanggal Lahir : Batu Ging-Ging, 29 Desember 2001
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : Dusun III Bangun Purba
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Samsinur
Ibu : Erhaini Purba
No Hp : 0821-6967-5249
Email : Wildankhairi816@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1907210067
Fakultas : Teknik
Progran Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan.

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD INPRESS	2013
2	SMP	SMP N.1 Bangun Purba	2016
3	SMA	SMA N.1 Bangun Purba	2019
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara sejak 2019 sampai dengan selesai.		