

**ANALISIS PENGARUH PENGGANTI FILLER DENGAN ABU  
CANGKANG SAWIT TERHADAP KINERJA PERKERASAN  
ASPAL**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Syarat Dalam Sidang Sarjana  
Universitas Medan Area**

**OLEH:**

**AGUS MAHLIZA FAHMI**

**168110014**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2021**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 15/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)15/12/21

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Agus Mahliza Fahmi

NPM : 168110014

Judul : Pengaruh Pengganti Filler Dengan Abu Cangkang Sawit Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal

Menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas dan sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 2 September 2021



Agus Maliza Fahmi  
168110014

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK**

---

Sebagai sivitas akademik universitas medan area, saya yang bertanda tangan  
dibawah ini :

Nama : Agus Mahliza Fahmi  
NPM : 16110014  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk menyerahkan kepada  
Universitas Medan Area Hak Bebas Royalty Non-Eksklusif (*non-exclusive royalty  
free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PENGARUH PENGGANTI FILLER DENGAN ABU CANGKANG SAWIT  
TERHADAP KINERJA PERKERASAN ASPAL**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) dengan Hak Bebas Royalty Non-  
Eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan,  
mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database),  
merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir/Skripsi/Tesis saya selama tetap  
mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Dibuat Di : Medan  
Pada Tanggal : 2 September 2021  
Yang Menyatakan

  
Agus Mahliza Fahmi

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGARUH PENGGANTI FILLER DENGAN ABU  
CANGKANG SAWIT TERHADAP KINERJA PERKERASAN ASPAL**

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana (S1) Pada Program Studi Teknik Sipil

Oleh :

**Agus Mahliza Fahmi**

**168110014**

Disetujui,

**Pembimbing I**



**Ir. Irwan, M.T**

**Pembimbing II**



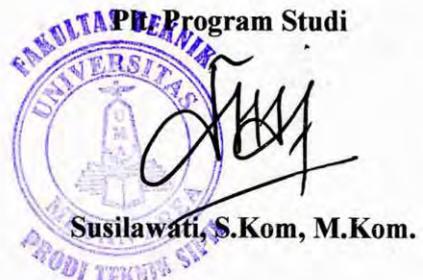
**Ir. Amsuardiman, M.T**

**Mengetahui,**

**Dekan Fakultas Teknik**

  
**Dr. Ir. Dina Maizana, M.T**

**Program Studi**

  
**Susilawati, S.Kom, M.Kom.**

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT, dengan rahmat, hidayah dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa pula Shalawat beriring salam kepada kekasih Allah SWT yaitu Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat dari alam jahiliah menuju alam islamiah dan dari alam kebodohan menuju alam yang berilmu pengetahuan.

Skripsi ini berjudul *Analisis Pengaruh Pengganti Filler dengan Abu Cangkang Sawit terhadap Kinerja Perkerasan Aspal*. Skripsi ini dapat dikatakan sebagai prasyarat yang harus diselesaikan setiap mahasiswa untuk menyelesaikan pendidikan di Fakultas Teknik dari Universitas Medan Area. Sesuai dengan judulnya, skripsi ini membahas mengenai pengaruh aspal modifikasi dengan penambahan abu cangkang sawit terhadap kinerja perkerasan aspal. Dalam Skripsi ini juga penyusun melakukan analisa perbandingan dengan teori yang selama ini telah diperoleh di bangku perkuliahan serta referensi buku yang didapatkan di perpustakaan.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan yang baik ini penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.SC, selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Ibu Dr. Ir. Dina Maizana, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

3. Ibu Susilawati, S.Kom,M.Kom ,selaku Plt ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir. Irwan, M.T, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir dan Ir. Amsuardiman, M.T selaku Dosen Pembimbing II yang selalu bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis untuk perbaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya serta penuh dengan kesabaran dan ketulusan.

Ucapan terimakasih yang teristimewa dan tak terhingga kepada kedua Orang tua. ayah dan ibu saya yang senantiasa memberikan do'a, kasih sayang, semangat, motivasi dan dukungan moral maupun materi untuk penulis. Semoga segala kebaikan dan pertolongan semuanya mendapatkan balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih jauh dari kata sempurna karena terdapat banyak kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu penulis memohon maaf dan berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun semua pihak yang membaca skripsi ini, dan dapat menambah wawasan terutama di dunia pendidikan khususnya dalam bidang Teknik Sipil. Aamiin Ya Rabbal'Alamin.

Medan, September 2021



Agus Mahliza Fahmi  
168110014

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR NOTASI .....	ix
ABSTRAK .....	x
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Maksud dan Tujuan .....	3
1.2.1 Maksud .....	3
1.2.2 Tujuan .....	3
1.3 Perumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Tujuan Pembuatan Jalan .....	5
2.2 Struktur Perkerasan .....	6
2.2.1 Syarat-Syarat Kekuatan/Struktural .....	9
2.2.2 Sistem Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO .....	10
2.3 Lapis Pondasi Campuran Beraspal .....	12
2.3.1 Dense Macadam Menurut BS 4987 (Klausul 903) .....	12
2.3.2 Rolled Asphalt Menurut BS 594 (Klausul 904) .....	13
2.4 Agregat Pembuatan Jalan .....	13
2.5 Gradasi Agregat .....	19
2.5.1 Persamaan Mencari Berat Jenis .....	20
2.5.2 Material Jalan Beraspal .....	24
2.5.3 Aspal .....	25
2.5.4 Agregat .....	30
2.5.5 Bahan Pengisi .....	31
2.6 Karakteristik Bahan .....	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	34
3.1 Metode Penelitian .....	34
3.2 Lokasi Penelitian .....	34
3.3 Bahan Pengujian .....	34
3.4 Peralatan Pengujian .....	35
3.5 Prosedur Pengujian Benda Uji .....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	50
4.1 Hasil Pengujian Material .....	50
4.1.1 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan .....	50
4.1.2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat .....	56
4.1.3 Data Pemeriksaan Aspal .....	61
4.1.4 Data Pemeriksaan Filler .....	62
4.1.5 Hasil Pemeriksaan Perendaman .....	62
4.2 Job Mix Design Dan Hasil Pengujian Marshall .....	63
4.3 Hasil Pengujian Marshall Benda Uji Kadar Filler 1% .....	71
4.4 Hasil Pengujian Marshall Benda Uji Kadar Filler 2% .....	79
4.5 Hasil Pengujian Marshall Benda Uji Kadar Filler 3% .....	86
4.6 Grafik Filler Optimum .....	94
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	99
5.1 Kesimpulan .....	99
5.2 Saran .....	99
DAFTAR PUSTAKA .....	102
LAMPIRAN 1 .....	103
LAMPIRAN 2 .....	118

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Perbedaan Perkerasan Lentur dan Kaku .....	9
2.2. Amplop Gradasi Agregat Untuk Campuran AC .....	16
2.3. Ketentuan Agregat Kasar .....	17
2.4. Ketentuan Agregat Halus .....	18
2.5. Batas Gradasi Agregat Halus .....	18
2.6. Ketentuan Aspal .....	30
2.7. Ketentuan Filler .....	31
2.8. Komposisi Abu Sawit .....	32
4.1. Analisa Saringan Pasir Alami .....	50
4.2. Analisa Saringan Medium Agregat .....	51
4.3. Analisa Saringan Coarse Agregat .....	52
4.4. Analisa Saringan Fine Agregat .....	53
4.5. Hasil Gradasi Agregat .....	54
4.6. Berat Sampel Agregat Kasar .....	56
4.7. Hasil Berat Sampel Agregat Kasar .....	57
4.8. Berat Sampel Agregat Halus .....	58
4.9. Hasil Berat Jenis Agregat Halus .....	59
4.10. Hasil Pemeriksaan Agregat kasar dan Halus .....	59
4.11. Data Pemeriksaan Aspal .....	62
4.12. Hasil Pemeriksaan Filler .....	62
4.13. Berat Benda Uji Penentuan KAO .....	65
4.14. Volume Isi Benda Uji Penentuan KAO .....	66
4.15. Nilai Stabilitas Benda Uji Penentuan KAO .....	66
4.16. Nilai Kelelehan Benda Uji Penentuan KAO .....	67
4.17. Nilai Kepadatan Benda Uji Penentuan KAO .....	67
4.18. Nilai VIM Benda Uji Penentuan KAO .....	68
4.19. Nilai VMA Benda Uji Penentuan KAO .....	69
4.20. Nilai VFA Benda Uji Penentuan KAO .....	69
4.21. Nilai Marshaal Benda Uji Penentuan KAO .....	70
4.22. Kesimpulan Hasil Pengujian Benda Uji Penentuan KAO .....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Gambar Lapis Material Konstruksi Jalan.....	6
2.2. Gambar Grafik Klasifikasi AASHTO .....	11
2.3. Gambar Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO .....	12
3.1. Gambar Pencampuran Agregat .....	43
3.2. Gambar Pemanasan Agregat Dengan Kompor .....	43
3.3. Gambar Pencampuran Agregat Dengan Aspal .....	44
3.4. Gambar Penumbukan Benda Uji.....	44
3.5. Gambar Penimbangan Benda Uji.....	45
3.6. Gambar Perendaman Benda Uji.....	45
3.7. Gambar Penimbangan Benda Uji .....	46
3.8. Gambar Perendaman Benda Uji Dalam WaterBath.....	46
3.9. Gambar Pengujian Marshall.....	47
Gambar Saringan Satu Set .....	118
Gambar Spliter .....	118
Gambar Timbangan.....	119
Gambar Mesin Ayakan .....	119
Gambar Piknometer .....	120
Gambar Nampan .....	120
Gambar Kualii .....	121
Gambar Spatula.....	121
Gambar Cetakan Benda Uji .....	122
Gambar Alat Penumbuk Benda Uji.....	122
Gambar Dongkrak.....	123
Gambar Bak Perendam .....	123
Gambar Alat Marshall Test.....	124
Gambar Water Bath.....	124
Gambar Kelapa Sawit .....	125
Gambar Pemisahan Kulit Dan Cangkang Sawit .....	125
Gambar Cangkang Kelapa Sawit .....	126
Gambar Penjemuran Cangkang Kelapa Sawit .....	126
Gambar Pembakaran Cangkang Kealap Sawit .....	127
Gambar Penghalusan Cangkang Kelapa Sawit .....	127
Gambar Abu Cangkang Kelapa Sawit .....	128
Gambar Proses Pencampuran Fraksi Agregat .....	128
Gambar Penimbangan Agregat Sebelum Dicampur Aspal .....	129
Gambar Proses Pembuatan Sampel Aspal .....	129
Gambar Sampel Aspal Sebelum Dicitel .....	130
Gambar Benda Uji Setelah Dicitel .....	130

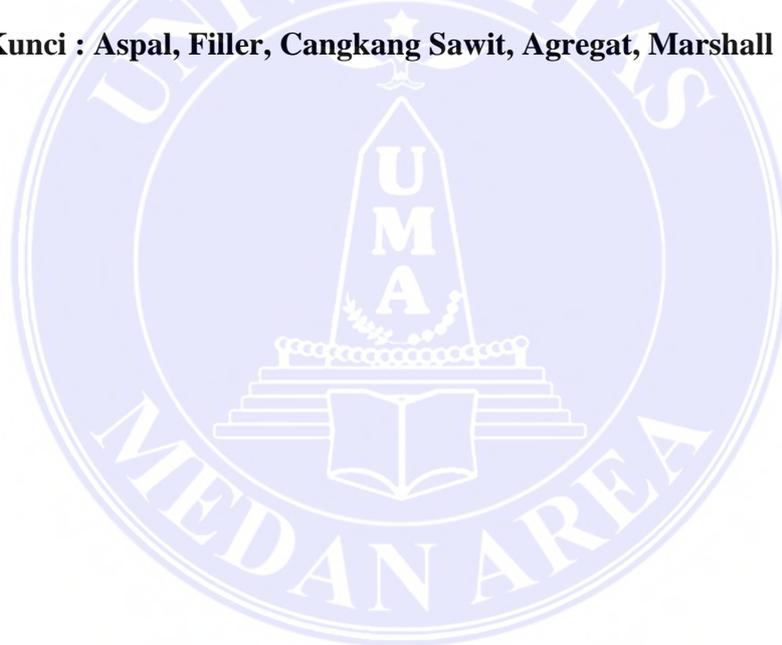
## DAFTAR NOTASI

AASHTO	:	<i>American Assosiation Of State Highway And Transportation Officials</i> (Badan Pengaturan Standar Yang Menerbitkan Spesifikasi, Protokol Uji, Dan Panduan Yang Digunakan Dalam Desingn Dan Konstruksi Jalan Raya Di Seluruh Amerika Serikat).
AC-WC	:	<i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i> (Lapisan Perkerasan Yang Terletak Paling Atas Dan Berfungsi Sebagai Lapisan Aus).
EVT	:	<i>Equi-Viscous Temperature</i> (Temperatur Dalam Derajat Celcius).
mm	:	Milimeter
PBI	:	Peraturan Beton Indonesia
SNI	:	Standar Nasional Indonesia
Ba	:	Berat Kering
Bj	:	Berat Agregat Dalam Jenuh Air
Ba	:	Berat Agregat Dalam Air
B	:	Berat Piknometer Dan Air Pada Suhu 25°C
Bt	:	Berat Piknometer + Benda Uji (SSD) + Air
Gsb <sub>.total</sub>	:	Berat Jenis Bulk Agregat Total
P1.P2...Pn	:	Persentase Berat Masing-Masing Fraksi Terhadap Berat Total Agregt Campuran
Gsb1, Gsb2..Gsb <sub>n</sub>	:	Berat Jenis Bulk Masing-Masing Fraksi Agregat
Gse	:	Berat Jenis Efektif Agregat
Gsb	:	Berat Jenis Bulk Agrgat Total
G.app	:	Berat Jenis Apparent
Gmm	:	Berat Jenis Maksimum Cmpuran
Pmm	:	Persentase Total Campuran = 100%
Pa	:	Kadar Aspal Terhadap Berat Aspal Beto Padat %
Ga	:	Berat Jenis Aspal
P <sub>ba</sub>	:	Penyerapan Aspal, Persen Total Agregat

## ABSTRAK

Aspal digunakan sebagai bahan pengikat agregat dalam campuran aspal dan sangat penting untuk mempertahankan karakteristiknya. Salah satu cara untuk memperbaiki atau mempertahankan karakteristik aspal tersebut adalah dengan menggunakan abu tempurung kelapa sawit. Penelitian kali ini menggunakan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengisi sebesar 1%, 2% dan 3% dari berat serta menggunakan aspal dengan penetrasi 60/70, metode yang digunakan adalah AASHTO dan spesifikasi Bina Marga 2018. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana karakteristik dan kekuatan optimum campuran aspal dengan menggunakan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengisi. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan tersebut didapatkan nilai rata-rata pengujian marshall pada benda uji dengan kadar filler 1% yaitu 290 kn/mm, nilai marshall pada benda uji dengan kadar filler 2% yaitu 293 kn/mm, kemudian nilai marshall pada benda uji dengan kadar filler 3% yaitu 296 kn/mm.

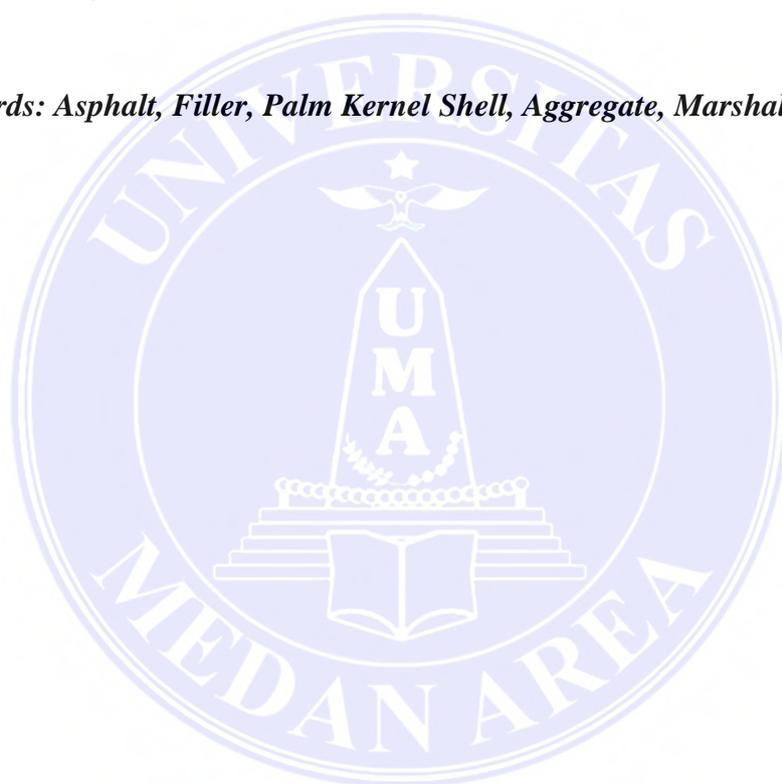
**Kata Kunci : Aspal, Filler, Cangkang Sawit, Agregat, Marshall**



## ABSTRAK

*Asphalt is used as an aggregate binder in asphalt mixtures and it is very important to maintain its characteristics. One way to maintain the characteristics of the asphalt is to use palm shell ash. This research uses oil palm shell ash as a filler of 1%, 2% and 3% of the weight and uses asphalt with 60/70 penetration, the method used is AASHTO and the specifications of Bina Marga 2018. This research was conducted to determine the characteristics and the optimum strength of the asphalt mixture using oil palm shell ash as a filler. From the results of the tests that have been carried out, the average value of the Marshall test on the test object with 1% filler content is 290 kn/mm, the Marshall value on the test object with a filler content 2% is 293 kn/mm, then the Marshall value on the test object with a filler content of 3% is 293 kn/mm.*

**Keywords: Asphalt, Filler, Palm Kernel Shell, Aggregate, Marshall**





## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Konstruksi jalan pada umumnya menggunakan perkerasan lentur yang terdiri dari sejumlah material dengan bahan pengikat berupa aspal. Di negara tropis seperti Indonesia, cuaca sangat berpengaruh terhadap kinerja perkerasan jalan raya. Contohnya seperti musim penghujan yang tidak jarang menyebabkan banjir. Hal ini tentunya dapat menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan dan lama kelamaan dapat mengakibatkan lapisan atas aspal kehilangan ketahanan (durabilitasnya).

Peningkatan beban lalu lintas juga dapat menyebabkan kerusakan dan mengurangi daya tahan konstruksi jalan. Secara umum, jalan harus mampu menahan beban lalu lintas tanpa mengubah bentuk tanah, lantai atas dan lantai bawah. Ini biasanya disebut sebagai stabilitas, dan kadang-kadang disebut sebagai kekuatan mekanik.

Stabilitas ini tidak hanya mencakup ketahanan langsung terhadap tekanan roda, tidak peduli berapa kg/cm<sup>2</sup> tekanan roda, tetapi juga ketahanan terhadap kerusakan internal dan pergerakan butir yang disebabkan oleh tekanan lalu lintas. Perkembangan konstruksi jalan akan meningkatkan bahan pencampur aspal, sehingga terjadi kelangkaan bahan. Aspal digunakan sebagai bahan pengikat agregat dalam campuran aspal dan sangat penting untuk mempertahankan karakteristiknya. Salah satu cara untuk memperbaiki atau mempertahankan karakteristik aspal tersebut adalah dengan menggunakan abu tempurung kelapa sawit

Abu cangkang sawit adalah bahan hasil dari pembakaran cangkang sawit limbah pabrik minyak sawit yang mengandung silikon oksida (SiO<sub>2</sub>) yang bersifat

reaktif dan mirip dengan semen serta aktivitas pozzolanik yang bagus bisa bereaksi menjadi bahan yang keras dan kaku sehingga diharapkan dapat memenuhi ketahanan. Disisi lain, perkembangan industri yang terus meningkat akan menghasilkan berbagai limbah diantaranya limbah abu cangkang sawit. Begitu juga halnya dengan perkebunan sawit yang menghasilkan abu cangkang kelapa sawit.

Sumatera utara adalah salah satu provinsi penghasil sawit terbesar di indonesia, sehingga abu cangkang kelapa sawit mudah didapat dari pabrik-pabrik pengolahan kelapa sawit, akan tetapi pada kali ini peneliti tidak menggunakan abu cangkang sawit yang berasal dari pabrik pengolahan kelapa sawit melainkan menggunakan abu cangkang sawit yang di olah sendiri. Oleh karena itu dilakukan modifikasi pada campuran aspal yang dimaksud aspal modifikasi itu adalah aspal yang terbentuk dari campuran aspal keras dengan tambahan bahan tertentu.

Penelitian sebelumnya Yelvi (2013) menyatakan bahwa hasil durabilitas menunjukkan campuran dengan filler abu cangkang kelapa sawit memiliki nilai durabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran yang tidak menggunakan filler abu cangkang sawit, sedangkan mukhlis (2019) menyatakan bahwa dari hasil pengujian dengan penambahan abu cangkang sawit sebagai pengganti agregat halus pada campuran AC-WC akan meningkatkan kadar aspal optimum (KAO), serta Anas Puri (2006) menyatakan bahwa hasil pengujian karakteristik *marshall* terhadap pengisi abu sawit secara umum telah memenuhi standar Bina Marga, sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengisi campuran beton aspal.

## 1.2 Maksud dan Tujuan

### 1.2.1 Maksud

Maksud dari penelitian ini adalah untuk memanfaatkan limbah abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengisi (*filler*) pada pekerjaan aspal. Dan juga untuk menganalisis indeks kekuatan (durabilitas) campuran agar dapat menyelimuti agregat dengan cepat dan homogen.

### 1.2.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis karakteristik dan kekuatan aspal setelah dilakukan penambahan limbah abu cangkang kelapa sawit sebesar 1%, 2%, 3%.

## 1.3 Perumusan Masalah

1. Mengetahui bagaimana karakteristik aspal dan agregat setelah dicampurkan dengan limbah abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengisi (*filler*) pada pembuatan aspal.
2. Bagaimana kekuatan optimum campuran aspal dan limbah abu cangkang kelapa sawit untuk memenuhi persyaratan yang ada.

## 1.4 Batasan Masalah

Ruang Lingkup yang dibahas dalam tugas akhir ini, antara lain :

1. Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70.
2. Penelitian ini bersifat uji laboratorium.
3. Agregat kasar dan agregat halus yang dipakai berasal dari PT. ADHI KARYA (Persero).
4. Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah abu cangkang sawit yang di olah sendiri.

5. Spesifikasi acuan dalam penelitian ini adalah menggunakan spesifikasi standar yang ditetapkan oleh Bina Marga.
6. Pengujian yang dilakukan meliputi analisis pengujian sifat fisik kekuatan aspal (uji penetrasi, uji titik kelembakan, uji berat jenis, uji penurunan berat) sesuai SNI dan uji marshall.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tujuan Pembuatan Jalan

Perkerasan jalan raya adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara dasar jalan. Fungsinya untuk memberikan pelayanan fasilitas lalu lintas. Diperkirakan tidak ada kerusakan besar selama masa layanan. Untuk mencapai kualitas permukaan jalan yang diharapkan, pengetahuan tentang sifat, perolehan dan pengolahan penyusun permukaan jalan sangat diperlukan. (Sukirman,2006)

Tujuan konstruksi jalan adalah untuk mengurangi tegangan tekan yang disebabkan oleh beban roda ke tingkat yang dapat diterima oleh tanah yang menopang struktur tersebut. Menurut Hardiyatmo (2015), tanah saja biasanya tidak kuat dan cukup tahan terhadap deformasi dalam menghadapi beban roda yang berulang. Untuk ini, diperlukan lapisan tambahan yang terletak di bagian atas tubuh. Lapisan tambahan ini dapat dibuat dari bahan pilihan khusus yang selanjutnya disebut lapisan keras/perkerasan/*pavement layer* .

Kendaraan yang diam pada struktur yang dikeraskan menghasilkan beban langsung (tegangan statis) pada permukaan jalan, yang terkonsentrasi di area kontak kecil antara roda dan permukaan jalan. Saat kendaraan berjalan, karena permukaan jalan yang tidak rata, beban angin dan alasan lainnya, kendaraan bergerak naik turun untuk menghasilkan tegangan dinamis tambahan. Ini akan menambahkan efek "benturan" ekstra ke jalan saat kendaraan melaju

Mempertimbangkan pertumbuhan lalu lintas tahunan (asumsi pertumbuhan lalu lintas 2% adalah umum), perkerasan jalan fleksibel telah dirancang hingga 20 tahun.

Namun, trotoar dapat mencapai umur layanan yang diharapkan dan dapat dilalui oleh banyak kendaraan yang direncanakan jika konstruksi perkerasan Dibuat dengan baik, semua bahan memenuhi standar yang dipersyaratkan, spesifikasi desain dan selalu digunakan dengan benar.

Pedoman perancangan jalan raya dan jembatan (*high way agency*) didasarkan pada umur rencana 20 tahun dengan perbaikan periodik dan perawatan, sebelum dilakukan rekonstruksi dengan besar. Konstruksi Bending disebut “bending” karena struktur ini memungkinkan terjadinya deformasi vertikal akibat beban lalu lintas.

## 2.2 Struktur perkerasan

Perkerasan pada umumnya tersusun atas empat lapis bahan konstruksi jalan di atas lapisan dasar jalan, yaitu:

- (1) lapisan permukaan.
- (2) Lapisan dasar atas/dasar.
- (3) Substrat.
- (4) Peron jalan.

seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Lapis Material Konstruksi Jalan  
Sumber : Internet

Stratum didefinisikan sebagai permukaan tanah dalam bentuk akhirnya setelah pekerjaan tanah selesai dan setelah konsolidasi, pemadatan atau stabilisasi in situ (in situ). Keempat lapisan struktur perkerasan tersebut adalah:

1. Lapisan bawah pondasi, digunakan untuk
    - (a) distribusi beban,
    - (b) drainase bawah tanah (jika bahan drainase gratis digunakan).
    - (c) Perkerasan selama konstruksi.
  2. Lapisan dasar jalan merupakan lapisan utama untuk menyebarkan beban.
  3. Lapisan permukaan dasar memberikan dukungan untuk lapisan tahan aus dan juga berperan dalam perlindungan jalan.
  4. Lapisan tahan aus, efektif:
    - (a) menyediakan perkerasan non-slip,
    - (b) memberikan perlindungan kedap air untuk perkerasan,
    - (c) mendukung beban langsung lalu lintas. Bentuknya
- stratum biasanya simetris, miring ke satu sisi, dan memiliki sumbu jalan tertinggi untuk membantu mengeringkan jalan. Jika jalan tidak dibentuk dengan cara ini, tanggul setebal 150 mm perlu digunakan untuk melindungi tanah sebelum membentuk bentuk akhir. Istilah roadbed digunakan untuk mendefinisikan tanah asli atau timbunan yang menerima beban langsung dari perkerasan di atasnya. Oleh karena itu, lapisan permukaan atas roadbed adalah lapisan tanah.

Hardiyatmo (2015) mengemukakan bahwa struktur pada perkerasan jalan dapat dilihat pada bahan perekat, dibedakan atas :

1) Konstruksi perkerasan lentur

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Struktur perkerasan lentur terdiri dari 5 lapisan, yaitu lapisan permukaan, lapisan perekat, lapisan dasar atas, lapisan dasar bawah dan lapisan dasar jalan. Setiap lapisan perkerasan harus memikul dan mendistribusikan beban lalu lintas ke dasar jalan.

Berikut ini adalah beberapa karakteristik dasar lantai fleksibel:

(a) Elastis saat memikul beban, sehingga memberikan rasa nyaman bagi pengguna; (b) Biasanya digunakan perekat berupa aspal; (c) Setiap lapisan memikul beban; (d) Perambatan tegangan ke tanah dasar tidak akan merusak tanah dasar; (e) Usia maksimal yang direncanakan adalah 20 tahun; (f) Selama masa pakai yang dirancang, pemeliharaan rutin diperlukan.

2) Konstruksi perkerasan kaku

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan ditempatkan pada dasar jalan dengan atau tanpa pondasi bawah. Selain itu, beban lalu lintas akan ditanggung oleh pelat beton.

3) Konstruksi perkerasan komposit

Perkerasan komposit merupakan gabungan antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Ini bisa berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, dan sebaliknya, perkerasan kaku di atas perkerasan lentur. Perbedaan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku ditunjukkan pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1. Perbedaan Perkerasan Lentur dan Kaku

No	Jenis Perbedaan	Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1	Bahan pengikat	Aspal	Semen
2	Repitisi Beban	Timbul rutting (lendutan pada jalur roda	Timbul retak-retak pada permukaan
3	Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok diatas perletakan
4	Perubahan temperatur	Modulus kekakuan berubah. Timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah. Timbul tegangan dalam yang besar

Sumber : Hardiyatmo, 2015

### 2.2.1 Syarat-Syarat Kekuatan/Struktural

Konstruksi perkerasan jalan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut dalam hal daya dukung beban dan dispersi: (a) Ketebalan yang cukup untuk dapat mendistribusikan beban lalu lintas/beban ke jalan; (b) tahan air, merek sulit air menembus lapisan bawah; (c) Permukaannya mudah ditiriskan, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat segera dibuang; (d) Kekakuan untuk menopang beban kerja tanpa menyebabkan deformasi yang berarti.

Untuk memenuhi persyaratan di atas, perencanaan dan pelaksanaan konstruksi perkerasan lentur harus meliputi:

1. Rencanakan ketebalan setiap perkerasan. Dengan mempertimbangkan daya dukung dasar jalan, beban lalu lintas yang dapat diangkut, kondisi lingkungan dan

jenis lapisan yang dipilih, maka ketebalan setiap lapisan dapat ditentukan menurut berbagai metode yang ada.

## 2. Menganalisis pencampuran bahan.

Dengan mempertimbangkan kualitas dan kuantitas bahan yang tersedia di lokasi, pengaturan campuran tertentu direncanakan untuk memenuhi spesifikasi jenis cat yang dipilih.

## 3. Mengawasi pelaksanaan pekerjaan.

Perencanaan ketebalan perkerasan yang baik dan komposisi pencampuran yang sesuai. Jika tidak memantau pelaksanaannya dengan cermat dari tahap persiapan di lapangan dan bahan hingga tahap pencampuran atau pencampuran, Anda tidak dapat menjamin produksi lapisan perkerasan yang memenuhi lapisan yang diperlukan. Tahap penempatan, dan terakhir ke tahap pemadatan dan pemeliharaan.

### 2.2.2 Sistem klasifikasi tanah menurut AASHTO

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh Hogentogler dan Terzaghi, dan akhirnya diadopsi oleh Bureau di jalan umum. Sistem mencoba untuk mengklasifikasikan tanah menurut sifat beban tanah pada roda. Setelah beberapa kali perbaikan, diambil alih oleh AASHTO.

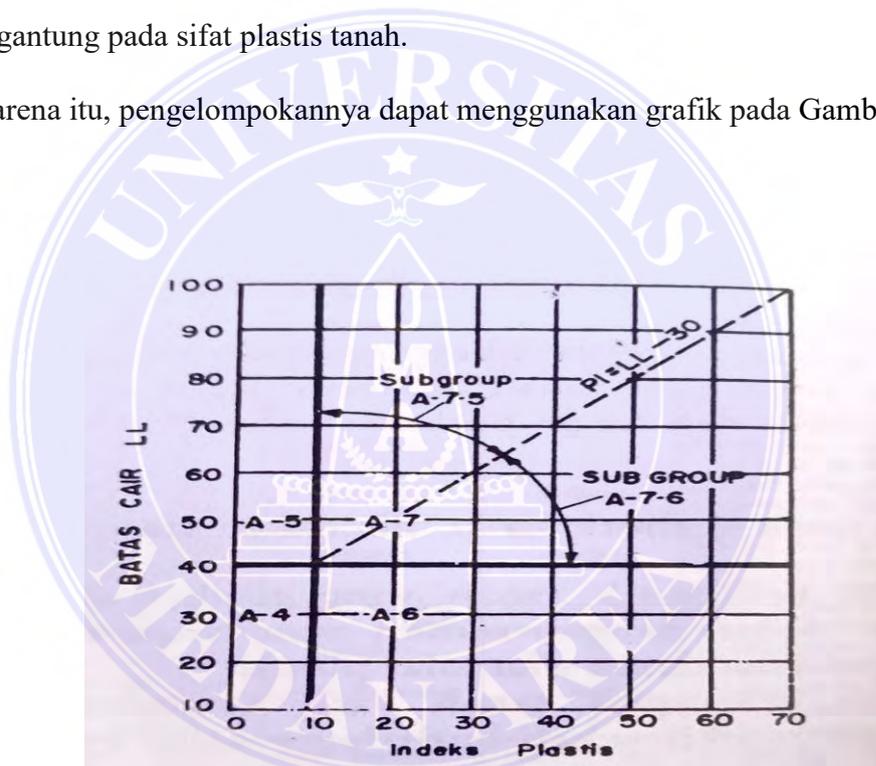
Menurut sistem ini, tanah dibagi menjadi 8 (delapan) golongan yang diberi nama A1 sampai dengan A8. A8 merupakan kelompok tanah organik, yang diabaikan dalam tinjauan AASHTO terakhir karena sebenarnya tidak stabil sebagai lapisan konstruksi perkerasan jalan. Secara umum tanah dibagi menjadi 2 (dua) golongan yaitu tanah berbutir kasar (<35>35% lolos saringan No.200). Komposisi dari tanah berbutir kasar adalah :

A1, sekelompok tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar, dengan sedikit atau tanpa butiran halus, dengan atau tanpa plastisitas.

A3, sekelompok tanah yang terdiri dari pasir halus, jarang melewati partikel halus No. 200, bukan plastis.

A2, sebagai kelompok batas antara kelompok tanah berbutir kasar dan kelompok tanah berbutir halus, kelompok A2 terdiri dari kerikil/pasir dan cukup banyak tanah berbutir halus (<35>35% sampai dengan No. saringan 200 ) sangat tergantung pada sifat plastis tanah.

Oleh karena itu, pengelompokannya dapat menggunakan grafik pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Grafik klasifikasi AASHTO untuk menentukan A-4 s/d A-7

Sumber : Buku Perkerasan Lentur Jalan Raya

KLASIFIKASI UMUM	BAHAN BERBUTIR KASAR 35% atau kurang lewat No. 200							BAHAN BERBUTIR HALUS 35% atau lebih lewat No. 200			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisa saringan (% lolos)											
No. 10	50 max	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
No. 40	30 max	50 max	.51 min	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi yang lewat No. 40:											
Batas Cair	.....		.....	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	40 min	40 max	41 min
Indeks Plastisitas	6 max		N. P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Jenis Umum	Fragmen batuan kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil atau pasir lanauan atau lem- pungan.			Tanah lanauan		Tanah lempungan		
Tingkat umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Cukup sampai buruk				

Gambar 2.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Sumber : Buku Perkerasan Lentur Jalan Raya

## 2.3 Lapis Pondasi Campuran Beraspal

### 2.3.1 Dense Macadam Menurut BS 4987 (klausul 903)

Kebutuhan akan lapis pondasi yang kuat, namun tetap lentur tidak mudah retak, telah menjadikan campuran beraspal dengan agregat bergradasi padat sebagai campuran yang banyak digunakan. Persyaratan utama dalam komposisi dense macadam untuk lapis pondasi ini adalah bahwa materialnya mempunyai agregat yang lolos saringan 3,35 mm sebanyak 38%, dan bahan pengikat yang berviskositas tinggi, seperti aspal bitumen 50, 100, atau 200; atau tar dengan 50, 54, atau 58°C EVT.

Pen adalah singkatan dari klasifikasi aspal berdasarkan nilai penetrasinya. Penetrasi merupakan ukuran dari kekerasan aspal. Penetrasi merupakan ukuran dari kekerasan aspal. EVT adalah singkatan dari *equi-viscous temperature* yang dimaksudnya adalah temperatur dalam derajat celcius dimana tas mempunyai viskositas 50 detik berdasarkan hasil uji *British Standard Tes*. Bahan pengikat

berviskositas tinggi seperti tas dengan 50°C EVT, dan aspal berpenetrasi 50 atau 100 sangat cocok untuk dipergunakan pada perkerasan.

### **2.3.2 Rolled Asphalt Menurut BS 594 (Klausul 904)**

*Rolled Asphalt* adalah jenis campuran beraspal yang paling lama digunakan sebagai lapis pondasi jalan. Campuran ini menyebarkan beban lenih baik dari campuran lentur lainnya. Komposisi *Rolled Asphalt* bagi lapis pondasi sesuai dengan BS 594, yaitu mempunyai 65% agregat kasar, pada umumnya menggunakan aspal pen 50 atau 70.

## **2.4 Agregat untuk konstruksi jalan**

Sebagian besar agregat untuk konstruksi jalan diperoleh dari batu alam atau batu pecah dengan proses penghancuran/penghancuran logam. Batuan alam ada yang berupa balok atau batuan sungai (diperoleh dari batuan gunung).

### **1. Pasir**

Pasir adalah bahan granular yang dihasilkan oleh erosi alami batuan atau penghancuran batu pasir. Ada beberapa jenis pasir, masing-masing memiliki kadar tertentu.

#### **a. Pasir Angin**

Pasir terbawa angin dan menumpuk di suatu tempat. Ini umumnya berbutir halus, dan kalibernya antara 40 dan 100.

#### **b. Danau Pasir atau Pantai**

Pasir bulat berbutir halus umumnya bercampur dengan pasir kasar. Ukuran umumnya adalah.

- c. antara ukuran 40 dan ukuran 200. Pasir Sungai

Pasir terbawa oleh air dan menggelinding antar partikel, sehingga tidak memiliki sudut yang tajam. Umumnya tidak ada lumpur, partikel halus, dan ukuran partikel antara 4-100.

- d. Batu Pasir (Sirtu)

Pasir Pasir yang diperoleh dengan pengayakan batupasir lolos No. 4. Kadang-kadang mengandung tanah dan ukurannya bervariasi dari No. 4 sampai No.

- e. pasir gunung

Pasir dari sedimen alami dengan sedikit atau tanpa kerikil. Pengukuran umum adalah antara "dan No. 200.

2. Kerikil

Kerikil diperoleh dari erosi alami batuan dan lebih besar dari pasir No. 4 atau" yang dianggap tertahan. Ada juga beberapa jenis kerikil, antara lain:

- (a) Kerikil kacang Kerikil bersih, berasal dari kerikil sungai berukuran "a".
- (b) Kerikil dapat ditemukan baik di hulu maupun hilir kerikil sungai, tersusun dari partikel-partikel bulat, "permukaan halus, bercampur dengan pasir sungai, biasanya bebas dari tanah dan lanau. Material yang melewati ini" termasuk pasang sungai.
- (c) Kerikil gunung adalah kerikil yang berasal dari endapan alam, biasanya berbutir, kadang bercampur dengan pasir halus dan tanah. Tergantung pada bahan campurannya, itu disebut kerikil, kerikil, kerikil tanah liat, kerikil pasir.

### 3. Batu pecah

Batu pecah diproduksi dengan cara menghancurkan berbagai jenis batu atau bongkahan batu secara mekanis. Misalnya: batugamping, granit, singkapan, kuarsit, dll. Ada beberapa jenis batu pecah, antara lain:

- (a) Batu pecah bergradasi, yaitu batu pecah yang dihasilkan dengan pengayakan ke gradasi yang diinginkan. Kerikil yang disukai adalah kubus (persegi), tetapi beberapa jenis batuan berlapis dapat menghasilkan bentuk yang datar.
- (b) Kerikil campuran, yaitu kerikil tanpa ayakan, umumnya hanya ayakan 2 inci yang digunakan sebagai kulit kepala (disaring sebelum memasuki penghancur tengah);
- (c) Penyaringan penghancur, yaitu bagian yang dilewati batu pecah" atau No. 4. Pengukuran umum dari "dan di bawah" mencakup 0 hingga 6% hingga No.200. Evaluasi keseluruhan baik, meskipun ada kekurangan di 40 sampai 100.
- (d) Terak adalah bahan bukan logam yang diperoleh dari tungku pemanas logam, yang mengandung bahan dasar seperti silikat dan aluminosilikat. Terak yang berkualitas baik akan memberikan permukaan jalan yang baik, meskipun terak biasanya berpori dan banyak menyerap aspal.

Dalam grading diagram, absis (sumbu x) mewakili ukuran butir pada skala logaritmik, dan ordinat (sumbu y) mewakili persentase berat pada skala konvensional, sehingga ukuran butir yang ditambahkan mudah dibaca. Gradien dapat digunakan untuk menentukan batas gradasi dari desain campuran. Meskipun toleransi kadar adalah batas fluktuasi yang diizinkan dari desain rasio campuran yang disetujui, koridor toleransi akan membentuk kisaran kecil yang disebut kadar kerja.

Tabel 2.2. Amplop Gradasi Agregat Untuk Campuran AC

Ukuran ayakan		Berat yang lolos terhadap total agregat (%)		
		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1 ½"	37,5	-		100
1"	25	-	100	90-100
¾"	19	100	90-100	76-90
½"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	21-40	18-38	13-30
No.30	0,6	14-30	12-28	10-22
No.50	0,3	9-22	7-20	6-15
No.100	0,15	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, 2018

Menurut Sukirman (2016), menurut ukuran partikelnya, agregat dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu agregat kasar, agregat halus dan pengisi.

1) Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm). Saringan basah dan harus bersih, keras, tahan lama dan bebas tanah liat (Bina Marga, 2018). Menurut Peraturan Beton Indonesia (PBI 71), persyaratan agregat kasar adalah sebagai berikut:

- a. Agregat kasar dapat berupa kerikil atau koral akibat formasi batuan alam atau batuan pecah yang diperoleh dari pecahan batuan yang berukuran lebih besar dari 5 mm.
- b. Agregat kasar tidak boleh berpori dan terdiri dari batuan keras. Agregat kasar yang mengandung partikel-partikel datar dapat digunakan, tetapi jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari total berat agregat. Agregat kasar di

tidak boleh mengandung lebih dari 1% berat kering lumpur dan tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak. Jika kandungan lumpur melebihi 1%, agregat harus dibersihkan. kekerasan dari

- d. Partikel agregat kasar -hari diverifikasi menggunakan wadah uji dengan beban uji 20 ton.
- e. Ukuran agregat maksimum tidak boleh melebihi 1/5 dari jarak minimum dari sisi cetakan. pasokan dari

agregat kasar ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Kasar

Karakteristik	Standar	Nilai
Gradasi	SNI 1968-1990-F	-
Penyerapan Air	SNI 1969-1990-F	Maks 3%
Berat Jenis Bulk	SNI 1969-1990-F	
Berat Jenis Apparent	SNI 1969-1990-F	
Berat Jenis Eektif	SNI 1969-1990-F	Min 2,5
Berat Jenis Permukaan Jenuh	SNI 1969-1990-F	
Material lolos Ayakan No. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1 %

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, 2018

#### 1) Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang terdiri dari pasir atau hasil dari pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75mm). Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC ampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran, agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras dan bebas lempung (Bina Marga, 2018). Fungsi utama agregat halus adalah untuk memberikan stabilitas serta mengurangi deformasi dari campuran.

Ketentuan agregat halus ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus

Karakteristik	Metode Pengujian	Syarat
Gradasi	SNI 1968-1990-F	-
Berat Jenis Bulk	SNI-1970-1990-F	
Berat Jenis Apparent	SNI-1970-1990-F	Min 2.5
Berat Jenis Efektif	SNI-1970-1990-F	
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	SNI-1970-1990-F	
Penyerapan Air	SNI –1969-1990-F	Maks 3%
Material lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C 117; 2012	Maks. 10 %

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, 2018

Tabel 2.5. Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	I	II	IV	
10 mm (3/8)	100	100	100	100
4,8 mm (No.4)	90-100	90-100	90-100	90-100
2,4 mm (No.8)	60-95	76-100	85-100	95-100
1,2 mm (No.16)	30-70	50-90	75-100	90-100
0,6 mm (No.30)	15-34	35 -59	60-79	80-100
0,3 mm (No.50)	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15 mm (No.100)	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, 2018

Keterangan :

- Zona klasifikasi I = pasir kasar
- Zona klasifikasi II = pasir agak kasar
- Zona tersier = pasir halus
- Klasifikasi distrik = pasir halus

## 2.5 Gradasi agregat

### 1) Gradasi Menerus (*Continous Graded*)

gradasi menerus diisi dengan partikel-partikel kecil, dan ruang-ruang antara partikel-partikel kecil diisi dengan partikel-partikel kecil, dan seterusnya. Ini juga disebut padat bergradasi karena memadat melalui pengisian dan penguncian.

Rentang toleransi untuk perataan terus menerus harus sempit untuk mempertahankan interlocking. Kontrol toleransi dapat dilakukan dengan cara-cara berikut: (1) Sumber setiap agregat dipilih dengan cermat; (2) Proses setiap polimer pada sumbernya dikontrol dengan hati-hati; (3) Pencampuran agregat yang berbeda mengadopsi metode mekanis di tempat pencampuran Lanjutkan; (4) Saring kembali agregat campuran dan sesuaikan kembali rasio setelah pengeringan dan sebelum pencampuran dengan aspal.

Ukuran agregat dalam campuran akhir umumnya dalam kisaran toleransi, perbedaan agregat kasar  $\pm 5\%$ , dan kisaran toleransi agregat halus lebih sempit. Biasanya 3 atau 4 jenis agregat yang berbeda dicampur untuk mencapai gradasi akhir yang mendekati gradasi yang dibutuhkan. Umumnya, agregat yang dihancurkan dengan mesin diayak menjadi 3 atau 4 ukuran untuk menghindari segregasi selama pengangkutan dan penanganan, dan kemudian agregat ukuran 3 atau 4 dicampur kembali dalam mixer.

2) Gradasi interstisial

Grading interstitial adalah ukuran butir agregat, sehingga tidak ada atau hampir tidak ada kisaran ukuran "sedang". Perbedaan material terjadi pada ukuran butir intermediet menerus, jika kurang dari 10% disebut celah gradasi. Ada spesifikasinya yang menyebutkan bahwa persentase bobot yang disetujui oleh No. 30 harus minimal 80% dari No. 8. Ada 16 angka dari 8 hingga 30, jadi penerapan peraturan di atas masih relevan, karena dari 8 hingga 16 adalah 10%, dari 16 sampai 30 adalah 10%, jika ditambahkan, itu adalah 20%.

3) Kelas Tunggal (*Single Grade*)

kelas tunggal mengacu pada partikel agregat dari satu ukuran sebagian besar, dan biasanya ada beberapa partikel halus yang tersisa. Gradasi semacam ini tidak rentan terhadap segregasi, dan merupakan produk abrasif yang mudah disesuaikan secara proporsional untuk mencapai gradasi yang diperlukan.

### 2.5.1 Persamaan Mencari Berat Jenis

Berat jenis agregat adalah perbandingan berat agregat per satuan volume dengan berat volume air yang sama pada suhu tertentu. Menurut SNI0319692008, agregat kasar dan agregat halus memiliki empat berat jenis, kemudian berat jenis agregat lepas total dihitung. Berat jenis efektif agregat total adalah sebagai berikut:

a. Berat jenis (*bulk specific gravity*)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat kering agregat dan air suling, dan kandungan air suling sama dengan kandungan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Formula 2.1 dapat digunakan untuk menentukan berat jenis agregat kasar sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis bulk} = B_k / (B + 500 - B_t) \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk menentukan berat jenis agregat halus dapat digunakan rumus pada rumus 2.2 sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis bulk} = B_k / (B + 500 - B_t)$$

b. Berat jenis semu (*apparent spesific gravity*)

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat kering agregat dengan kandungan agregat kering yang sama dengan air suling pada suhu tertentu.

Untuk menentukan berat jenis agregat kasar, rumus 2.3 berikut dapat digunakan:

$$\text{Berat jenis semu (apparent)} = B_k / (B_k - B_a) \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk menentukan berat jenis semu pada agregat halus dapat menggunakan rumus persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis semu (apparent)} = B_k / (B + B_k - B_t) \dots\dots\dots (2.4)$$

c. Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*) SSD

Berat jenis permukaan jenuh adalah perbandingan antara berat kering permukaan jenuh dengan berat air suling agregat dengan kandungan agregat kering yang sama pada suhu tertentu. Untuk menentukan berat jenis serbuk kering permukaan jenuh (SSD) pada agregat kasar dapat menggunakan rumus 2.5 sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis SSD} = B_j / (B_j - B_a) \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk menentukan berat jenis permukaan jenuh (SSD) pada agregat halus dapat digunakan rumus 2.6 sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis SSD} = 500 / (B + 500 - B_t) \dots\dots\dots (2.6)$$

d. Penyerapan air (*absorption*)

Penyerapan air mengacu pada persentase berat jenis air yang dapat diserap pori-pori relatif terhadap berat agregat kering. Untuk menentukan persentase penyerapan pada agregat kasar, dapat digunakan rumus 2.7 sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan} = (B_j - B_k) / B_k \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Untuk menentukan persentase penyerapan agregat halus dapat digunakan rumus 2.8 sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan} = (500 - B_k) / B_k \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- B<sub>k</sub> : Berat agregat kering oven
- B<sub>j</sub> : Berat agregat dalam jenuh air
- B<sub>a</sub> : Berat agregat dalam air
- B : Berat piknometer dan air pada suhu 25°C
- B<sub>t</sub> : Berat piknometer + benda uji (SSD) + air
- e. Berat jenis bulk agregat total

Agregat total terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan filler yang masing-masing memiliki berat jenis yang berbeda. Berat jenis agregat (G<sub>sb</sub>) dihitung menggunakan rumus pada rumus 2.9 sebagai berikut:

$$G_{sb, \text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

G<sub>sb, total</sub> : Berat jenis bulk agregat total

P<sub>1</sub>.P<sub>2</sub> ..... P<sub>n</sub> : Persentase berat masing-masing fraksi terhadap berat total agregat campuran.

G<sub>sb1</sub>, G<sub>sb2</sub> .. G<sub>sbn</sub> : Berat jenis bulk masing-masing fraksi agregat.

f. Berat jenis efektif agregat total

Jika berat jenis maksimum (Gmm) campuran diukur dengan AASHTO T20909, berat jenis efektif (Gse) agregat, kecuali untuk rongga penyerap aspal dalam partikel agregat, dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$Gse = \left\{ \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G.app_1} + \frac{P_2}{G.app_2} + \frac{P_3}{G.app_3} + \dots + \frac{P_n}{G.app_n}} + Gsb \right\} / 2 \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

Gse : Berat jenis efektif agregat

Gsb : Berat jenis bulk agregat total

P1, P2, ... Pn : Persentase berat dari fraksi terhadap total agregat campuran

G.app : Berat jenis *apparent*

g. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum (Gmm) campuran setiap kadar aspal perlu dihitung rasio rongga kadar aspal, dan berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T20909. Kepadatan maksimum campuran dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Pmm - Pa}{Gse} + \frac{Pa}{Ga}} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

Gmm : Berat jenis maksimum campuran

Pmm : Persen total campuran = 100%

Pa : Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat %

Ga : Berat jenis aspal

Gse : Berat jenis efektif agregat

Berdasarkan perhitungan berat jenis, kita dapat menentukan apakah agregat tersebut layak untuk penelitian. Berat jenis agregat kecil, sehingga daya serapnya akan lebih tinggi, sehingga akan menyerap aspal.

### **2.5.2 Material Jalan Beraspal**

Semua lapisan perkerasan aspal terdiri dari agregat, yang diperoleh dari batu pecah, terak atau kerikil dan pasir atau batu berbutir halus. Agregat memegang peranan penting dalam mempengaruhi perilaku permukaan jalan. Dalam keadaan normal, agregat memiliki kekuatan mekanik untuk konstruksi jalan dan lapisan permukaan (lapisan atas) yang secara langsung mendukung beban lalu lintas, tetapi karena beban lalu lintas yang tinggi, bagian ini akan semakin aus, sehingga akan mengakibatkan lapisan yang licin dan tidak sesuai permukaan. Mobil ini layak lagi.

Bentuk partikel agregat mempunyai pengaruh yang besar terhadap fungsi agregat yang digunakan dalam konstruksi jalan. Jika bahan ini diproduksi oleh penghancur batu, kemungkinan produksi agregat dapat disesuaikan. Kualitas agregat dari satu sumber dapat bervariasi untuk menjaga ketersediaan bahan jalan secara berkesinambungan. Meskipun kandungan aspal pada lapisan permukaan sangat kecil dibandingkan dengan jumlah agregat, kualitas dan kuantitas aspal sangat berpengaruh terhadap kinerja lapisan permukaan.

Aspal terdiri dari dua bentuk, yaitu: (1) tar (dihasilkan dengan proses karbonasi) dan (2) aspal (proses aspal alam yang dihasilkan selama pengolahan minyak bumi).

Kedua bentuk aspal tersebut diproduksi dengan viskositas yang berbeda untuk menyesuaikan dengan proses yang berbeda yang digunakan dalam konstruksi perkerasan aspal. Salah satu fungsi utama aspal adalah sebagai pengikat, tidak hanya

sebagai penghubung antar partikel agregat, tetapi juga sebagai penghubung antara agregat dengan lapisan bawah struktur jalan.

Untuk membuat ikatan yang baik, air dan debu harus dihilangkan, lapisan permukaan harus mampu menahan deformasi yang disebabkan oleh tekanan beban lalu lintas pada suhu jalan tinggi, dan menahan keretakan dan kerapuhan pada suhu jalan rendah. Oleh karena itu, aspal harus mampu menahan kondisi ekstrim tersebut dan juga memiliki fluiditas yang cukup sehingga dapat dipompa atau disemprotkan, dan dapat dilapisi/dilapisi dengan agregat mineral.

Semua aspal berubah dengan perubahan iklim, menjadi keras dan rapuh pada suhu rendah. Ini adalah masalah utama dengan material struktur terbuka seperti lapisan kerikil. Aspal dalam campuran yang sangat padat (seperti aspal canai/padatkan) akan sangat aman dan tidak akan terpengaruh cuaca, dengan harapan memiliki masa pakai yang lebih lama.

bahan paving antara lain :

### **2.5.3 Aspal**

Aspal dikenal sebagai bahan padat berwarna hitam atau coklat yang mempunyai daya rekat dan mengandung bagian utama yaitu hidrokarbon yang dihasilkan oleh minyak atau kejadian alam (aspal alam) dan terlarut dalam karbon disulfida. Sebagian besar bahan perkerasan aspal yang digunakan di Inggris dihasilkan dari minyak bumi dengan menggunakan proses penyulingan distilasi. Ini kadang-kadang disebut aspal sisa atau aspal lurus.

Bitumen sering diartikan sebagai bitumen, tetapi bukan karena tar juga mengandung bitumen. Juga, hanya bitumen yang dianggap sebagai bahan bitumen.

Semua bitumen diperoleh dengan distilasi mekanis atau alami dari minyak mentah (crude).

Berdasarkan sumbernya, ada beberapa jenis aspal yaitu:

A. Aspal alami Natural

Bitumen alami terbentuk ketika minyak mentah naik ke permukaan bumi melalui retakan di kerak bumi. Karena sinar matahari dan angin, minyak ringan dan gas alam menguap, meninggalkan residu plastik hitam yang disebut aspal. Sebagian besar aspal alam bercampur dengan mineral seperti tanah liat, pasir atau kerikil, dan mineral ini akan hilang ketika minyak mengalir ke lubang-lubang di permukaan bumi.

B. Aspal Minyak (*Petroleum Asphalt*)

Penyulingan berbagai jenis minyak dari minyak mentah, seperti bensin, solar, minyak tanah, dll. Residu penyulingan adalah aspal, namun aspal ini masih lunak yaitu mempunyai Penetrasi sekitar 300. Setelah melalui proses semi blown baru diperoleh aspal Penetrasi 60/70 dan aspal keras (*asphalt cement*) jenis lainnya.

Berdasarkan jenisnya, terdapat :

1. Aspal keras

Hard pitch adalah pitch keras yang solid pada suhu kamar. Aspal ini dirancang dengan memilih permeabilitas perkerasan, kekerasan yang sesuai untuk pelaksanaannya, iklim dan jenis lalu lintas. Penetrasi adalah jarum standar dengan beban 100 gram (termasuk berat jarum), masuk 5 detik pada suhu 25°C.

2. Aspal Cair

Aspal Cair Ada tiga jenis aspal cair, yaitu: (a) Aspal cair padat lambat, yaitu aspal cair ini dapat berupa oli bekas dengan sedikit minyak berat atau

campuran aspal keras dan oli bekas. Untuk mendapatkan kemampuan kerja yang lebih baik, aspal jenis ini harus dipanaskan dan umumnya digunakan untuk pencampuran dingin; (b) Aspal cair pemadatan sedang, yaitu aspal cair yang diperoleh dengan mengencerkan aspal keras dengan minyak tanah. aspal ini sudah cair pada suhu kamar dan umumnya digunakan untuk primer; (c) aspal cair yang cepat dipadatkan, yaitu aspal cair yang diperoleh dengan mengencerkan aspal keras dengan bensin. Karena bensin menguap jauh lebih cepat daripada minyak tanah, aspal cair ini disebut aspal cair cepat menguap. Hal ini umumnya digunakan untuk lapisan perekat.

Bitumen minyak bumi diperoleh dengan penyulingan minyak mentah dalam berbagai tahap kondensasi dengan penguapan dan distilasi. Perbedaan antara aspal keras dan aspal cair adalah bahwa aspal keras harus dipanaskan untuk mencapai keadaan cair, sedangkan aspal cair sudah dalam keadaan cair pada suhu kamar, sehingga aspal cair membutuhkan pelarut.

### C. Aspal Emulsi

Jika air dicampur dengan minyak, keduanya akan terpisah. Untuk mencampur suspensi, bahan ketiga, seperti sabun, perlu ditambahkan untuk memperlambat pemisahan. Dengan cara yang sama, pengemulsi digunakan untuk mencampur aspal keras dan air untuk memperlambat laju pemisahan. Ada banyak pengemulsi, organik dan anorganik, seperti tanah liat koloid, silika larut dan tidak larut, sabun, dan minyak nabati tersulfonasi.

Jika emulsi aspal pecah atau mengeras, air mengalir atau menguap dari aspal. Perhatian khusus harus diberikan pada perawatan aspal emulsi untuk menghindari reaksi awal akibat tekanan, panas berlebih, atau pendinginan berlebih. Kecepatan

reaksi sangat tergantung pada jumlah dan jenis pengemulsi yang digunakan. Jika emulsi aspal pecah, warna aspal coklat asli berubah menjadi hitam.

Aspal Teremulsi didasarkan pada komposisi muatan pengemulsi:

a) Aspal Emulsi Kationik

Cationic Emulsified Asphalt (ion positif) cocok untuk jenis batuan yang mengandung ion negatif. Namun, aspal kationik dapat digunakan untuk semua jenis batu. Emulsi aspal dibagi menjadi laju reaksi: (1) Pemadatan cepat membutuhkan waktu beberapa menit untuk terurai; (2) Set sedang membutuhkan waktu puluhan menit untuk istirahat; (3) Set lambat membutuhkan waktu beberapa jam untuk rusak.

Secara umum aspal emulsi lebih menguntungkan dari aspal cair karena dapat beradaptasi untuk agregat basah dan mengurangi bahaya kebakaran dan bahaya keracunan.

D. Pemeriksaan Aspal

Kinerja aspal yang perlu sering diperiksa di laboratorium dan memenuhi persyaratan yang ditentukan dapat digunakan sebagai pengikat untuk pekerjaan pengaspalan jalan fleksibel. Pemeriksaan aspal yang dilakukan meliputi:

- (a). Uji penetrasi aspal, tujuan pengujian aspal adalah untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Pemeriksaan dilakukan dengan memasukkan jarum tusuk dengan diameter 1 mm menggunakan beban 50 g sehingga diperoleh beban bergerak sebesar 100 g pada suhu 25°C selama 5 detik.
- (b). Pemeriksaan titik lembek Titik lembek adalah suhu di mana cincin aspal yang diletakkan horizontal melunak dalam larutan air yang dipanaskan secara teratur, suhu ini dapat diperiksa dengan menggunakan prosedur SNI 0624341991.

(c). Deteksi Titik Nyala Tujuan pendeteksian titik nyala adalah untuk menentukan temperatur dimana aspal memiliki titik nyala yang pendek pada permukaan aspal.

(d). Pemeriksaan daktilitas, tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui sifat kohesi dari aspal itu sendiri, yaitu dengan mengukur jarak terjauh yang dapat ditarik antara dua cetakan yang mengandung aspal.

a) Pemeriksaan berat jenis aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat kandungan destilat yang sama pada temperatur tertentu.

b) Pemeriksaan penyerapan aspal

Penyerapan aspal dinyatakan sebagai persentase dari total berat agregat terhadap campuran yang dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_a \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

$P_{ba}$  : Penyerapan aspal, persen total agregat

$G_{sb}$  : berat jenis bulk agregat

$G_{se}$  : berat jenis efektif agregat

$G_a$  : Berat jenis aspal

Berikut ini adalah ketentuan pada pengujian aspal yang biasa digunakan di Indonesia, dapat dilihat pada tabel 2.6 sebagai berikut :

Tabel 2.6 Ketentuan Aspal

Jenis Pemeriksaan	Metode	Syarat
Penetrasi 25°C; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60 – 70
Titik Lembek, °C	SNI 2434:2011	Min. 48
Titik Nyala, °C	SNI 02433:2011	Min. 232
Daktalitas 25°C, cm	SNI 2432:2011	Min. 100

Tabel 2.6 Ketentuan Aspal

Kehilangan Berat, %	SNI 06-2440-1991	Maks. 0,8
Berat jenis, gr/cc	SNI 2441:2011	Min. 1,0

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, 2018

#### 2.5.4 Agregat

Agregat adalah partikel dari batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, yang berasal dari alam atau buatan manusia, dan ada dalam bentuk mineral padat, dengan berbagai ukuran. Agregat merupakan komponen utama pembangunan jalan.

Sifat-sifat agregat yang menentukan mutu bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dibagi menjadi tiga (tiga) bagian, yaitu: (1) Ketahanan dan keawetan lapisan perkerasan dipengaruhi oleh gradasi, ukuran maksimum, kandungan liat, bentuk partikel dan permukaan. tekstur. Kekerasan dan kekuatan; (2) Aspal memiliki sifat pelapis yang baik, yang dipengaruhi oleh porositas, kemungkinan kelembaban dan jenis agregat yang digunakan. Dan (3) Mudah untuk diimplementasikan dan menghasilkan permukaan yang nyaman dan aman yang dipengaruhi oleh resistensi pemotongan.

### 2.5.5 Bahan Pengisi (Filler)

#### 1. Loess

Loess adalah material berpori halus yang diendapkan oleh angin.

Partikelnya lebih kecil dari pasir tetapi lebih besar dari tanah. Karena butiran memiliki tepi dan sudut yang tajam dan dapat dipadatkan, loess memiliki karakteristik penggalian vertikal.

#### 2. Debu Butir

Debu Butir adalah debu dari batuan (seperti marmer), semen Portland, atau bubuk alami atau buatan lainnya. Umumnya 80% sampai 100% melewati angka 200. Serbuk butiran ditambahkan ke dalam campuran aspal untuk mengisi celah dalam campuran dan meningkatkan stabilitas campuran.

#### 3. Flyash

Dempul buatan yang diperoleh dari pembakaran batu bara. Biasanya 80% melewati 200. Pada awalnya, material dianggap sebagai limbah, yang sangat mengganggu industri pembangkit listrik, dan jumlahnya menempati ruang yang cukup besar. Saat ini bahan ini dapat digunakan sebagai bahan pengisi aditif untuk campuran aspal.

Tabel 2.7 Ketentuan Filler

Karakteristik	Metode Pengujian	Syarat
Material lolos saringan no.200	SNI M-02-1994-03	Min.75 %

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6, 2018

#### 4. Abu Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit adalah bagian yang paling keras yang terdapat pada kelapa sawit, dan merupakan bahan bakar padat kelas tinggi yang dapat diperbaharui

untuk pembakaran, baik bersama-sama dengan uap batubara atau di bakar di biomasa pembangkit tenaga listrik, yang biasanya dicampur dengan tingkatan lain dari biomassa seperti potongan kayu. Setelah dikaji lebih dalam ternyata cangkang kelapa sawit termasuk bahan berlignoselulosa yang berkadar karbon tinggi dan mempunyai berat jenis yang lebih tinggi dari pada kayu yang mencapai 1,4 gr/cm<sup>3</sup>.

Cangkang kelapa sawit adalah salah satu limbah pengolahan minyak kelapa sawit yang cukup besar, yaitu mencapai 60% dari produksi minyak. Tempurung kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai arang aktif. Arang aktif dapat dibuat melalui proses karbonisasi pada suhu 550°C selama kurang lebih tiga jam. Karakteristik arang yang dihasilkan melalui proses tersebut memenuhi SII, kecuali kadar abu.

Tabel.2.8. Komposisi Abu Sawit (% berat)

Unsur/senyawa	Persentase (%)
Silika (SiO <sub>2</sub> )	61
Kalsium Oksida (CaO)	7,5
Natrium (Na)	1,1
Kalium (K)	1,5
Magnesium (Mg)	2,8
Klor (Cl)	1,3
Karbonat (CO <sub>3</sub> )	1,9
Nitrogen (N)	0,05
Posfat (P)	0,9

Sumber : Zahrina, 2017

## 2.6 Karakteristik Bahan

Karakteristik yang paling penting dari agregat sebagai bahan jalan adalah ketahanannya terhadap keretakan, pukulan, abrasi dan keausan, berat jenis, penyerapan air serta gradasinya dan bentuk butirannya. Tidak semua karakteristik

tersebut dipakai untuk tiap-tiap penerapan pembuatan jalan. Sebagai contoh, tahanan abrasi dan keausan yang tinggi tidak disyaratkan untuk agregat lapis pondasi jalan (*base course*), tetapi hal tersebut penting sekali untuk bahan lapis permukaan (*wearing course*).

*Transport Research Laboratory* mengeluarkan suatu daftar sumber-sumber utama agregat sebagai bahan pembuatan jalan di Inggris Raya. Informasi ini mencakup jenis-jenis batuan yang digarap, pengelompokan menurut klasifikasi dan warnanya.

Batu jalan harus diuji menurut serangkaian *British Standard-and Test* yang meliputi: (1) Uji kehancuran agregat; (2) Uji impact agregat; (3) Uji abrasi agregat; (4) Uji kecepatan keausan; (5) Uji berat jenis dan daya penyerapan air; (6) Analisa saringan/ayak; (7) Uji bentuk butiran; dan (8) Uji kehalusan 10%.

Secara umum uji agregat digunakan untuk menguji apakah batuan berada pada batas tertentu atau untuk membandingkan perbedaan batu-batu jalan sehingga dapat ditentukan batuan mana yang paling cocok untuk penggunaan tertentu. Bila banyak agregat tersedia, maka agregat-agregat yang mempunyai karakteristik fisik lebih baik umumnya lebih disukai untuk digunakan sebagai lapis permukaan (*wearing course*) pada jalan yang berlalulintas padat.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Metode Penelitian**

Metode penelitian merupakan cara ilmiah dalam mencari dan mendapatkan data, serta memiliki kaitan dengan prosedur dalam melakukan penelitian dan teknis penelitian. Penulisan penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, dimana cara (metode) pengumpulan data, analisa data, dan interpretasi hasil analisa untuk mengambil keputusan dan kesimpulan. Spesifikasi acuan dalam penelitian ini adalah menggunakan spesifikasi standar yang ditetapkan oleh Bina Marga dan AASHTO Sehingga data yang digunakan adalah data kuantitatif yang berbentuk angka atau data yang diangkakan.

Pada penelitian Analisis aspal modifikasi ini, proses penelitiannya perlu dilakukanan alisis yang teliti, semakin rumit permasalahan yang dihadapi semakin kompleks pula analisis yang akan dilakukan. Analisis yang baik memerlukan data atau informasi yang lengkap dan akurat disertai dengan teori atau konsep dasar yang relevan. Adapun metode penelitian yang digunakan untuk menganalisis modifikasi aspal ini adalah sebagai berikut :

### **3.2 Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan langsung di laboratorium PT. Adhi Karya ( Persero) AMP medan Base Cam, Pasar V Patumbak Kabupaten Deli Serdang.

### **3.3 Bahan Pengujian**

#### **1. Agregat**

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari Sei Wampu Binjai, Sumatera Utara dan ada 2 jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus :

a) Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 yaitu batu pecah (coarse aggregate) dan medium aggregate yang tertahan di saringan no.8.

b) Agregat Halus

Fraksi agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 yaitu abu batu (fine aggregate) dan pasir yang lolos saringan no.8 dan tertahan saringan no.200.

2. Aspal

Penelitian ini, aspal yang digunakan adalah aspal dengan Pen 60/70 yang berasal dari AMP PT.Adhi Karya.

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi atau *filler* yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu cangkang kelapa sawit yang diolah sendiri

4. Air Perendaman

Air perendaman digunakan untuk melakukan perendaman benda uji. Air yang digunakan adalah air yang sudah tersedia di Laboratorium PT.Adhi Karya.

### 3.4 Peralatan Pengujian

#### A. Peralatan Pengujian Bahan

1. Spliter.

Spliter adalah alat yang digunakan untuk menyiapkan benda uji agregat yang diambil dari lapangan untuk disesuaikan dengan agregat dan jumlah benda uji yang diperlukan.

2. Satu Set Saringan.

Saringan digunakan untuk pengujian gradasi campuran agregat kasar dan agregat halus.

3. Timbangan.

Timbangan digunakan untuk menimbang proporsi agregat halus, agregat kasar, dan filler untuk mendapatkan berat yang sesuai dengan perencanaan.

4. Mesin Ayakan (*Shieve Shaker*)

Mesin ini digunakan untuk mengayak agregat halus dan agregat kasar.

5. Piknometer

Piknometer dalam penelitian ini merupakan alat yang digunakan dalam pengujian berat jenis agregat halus.

6. Wadah/Nampan

Nampan ini digunakan sebagai wadah/tempat untuk menampung hasil pembagian dari spliter dan meletakkan agregat kasar, agregat halus dan filler yang telah dibagi sesuai proporsinya.

B. Peralatan Pembuatan Benda Uji

1. Kualiti

Kualiti digunakan untuk memasak campuran aspal dengan agregat dan filler hingga campuran teraduk rata dan siap untuk dicetak.

2. Spatula

Spatula digunakan sebagai alat pengaduk campuran aspal dan agregat saat dipanaskan diatas kompor.

3. Kompor

Kompore digunakan untuk memanaskan campuran aspal dan agregat hingga campuran tercampur rata dan mencapai suhu 150°C.

4. Termometer

Termometer digunakan untuk mengecek campuran aspal dan agregat yang dipanaskan sudah mencapai suhu 150°C agar bisa segera dilakukan pemadatan.

5. Cetakan Benda Uji

Campuran aspal dengan agregat yang telah dipanaskan selanjutnya dicetak dengan menggunakan alat cetak benda uji berdiameter 10,2 cm dan tinggi 7,5 cm.

6. Penumbuk Benda Uji

Penumbuk manual benda uji digunakan untuk memadatkan campuran aspal yang masih panas. Alat penumbuk ini memiliki diameter 9,8 cm, berat 4,5 kg dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm.

7. Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang berat benda uji yang telah dikeluarkan dari cetakan dan juga digunakan untuk menimbang berat benda uji didalam air.

8. Dongkrak

Dongkrak digunakan untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan setelah proses pemadatan dan benda uji sudah mencapai suhu ruangan.

9. Bak perendam

Bak perendam digunakan untuk merendam benda uji selama 24 jam agar benda uji menjadi jenuh air.

10. Alat Pendukung

Alat pendukung dalam pembuatan benda uji yaitu seperti sarung tangan anti panas, kain lap dan tipe-x untuk memberi tanda pada benda uji.

C. Peralatan Pengujian Benda Uji

1. Alat Marshall Test

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode marshall, meliputi alat tekan marshall yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 2500 kg yang dilengkapi arloji pengukur *flowmeter* dan arloji *stability*.

2. Alat Uji Durabilitas

Alat untuk uji durabilitas adalah *water bath* yang dilengkapi pengatur suhu.

**3.5 Prosedur Pengujian Benda Uji**

1. Persiapan Bahan dan Alat

Semua peralatan dan bahan dipersiapkan terlebih dahulu, mulai dari aspal yang telah dicairkan, filler agregat halus dan kasar dan juga alat untuk pengujian bahan, alat untuk pembuatan benda uji dan alat untuk pengujian benda uji. Untuk agregat kasar dan agregat halus dipersiapkan dengan metode spliter. Metode ini bertujuan untuk membagi agregat agar terbagi rata dan siap untuk dilakukan pengujian selanjutnya. Adapun cara melakukan metode spliter adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan spliter dan dua buah nampan dibawah lubang pembagi spliter.
- b. Menumpahkan agregat tersebut tersebut kedalam spliter dengan kecepatan tertentu sehingga terjadi aliran bebas melalui lubang-lubang spliter
- c. Teruskan kegiatan pertama hingga kedua hingga agregat terbagi menjadi 2 bagian

d. Lakukan sampai diperoleh berat agregat untuk jumlah benda uji yang direncanakan. Simpan benda uji yang telah terbagi 2 tadi untuk selanjutnya dilakukan uji berat jenis.

## 2. Pengujian Material

Pengujian material yang dilaksanakan pada penelitian ini, meliputi pemeriksaan terhadap agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

### A. Pemeriksaan Analisa Saringan

Prosedur dalam melakukan pemeriksaan analisa saringan adalah :

1. Agregat kasar dan agregat halus dikeringkan menggunakan sinar matahari sampai berat tetap. Berat tetap yaitu keadaan berat benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih besar daripada 0,1%
2. Agregat kasar, agregat halus dan filler dicampur dan disaring lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas/sesuai dengan urutan saringan yang terdapat pada spesifikasi yang digunakan. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang saringan (sieve shaker) selama 15 menit, dan catat hasilnya.
3. Lalu setelah itu, tahap selanjutnya masukkan coarse aggregate saja kedalam susunan saringan kemudian saring dan guncang selama 15 menit. Dan lakukan hal yang sama untuk medium aggregate, fine aggregate, pasir dan juga filler.

### B. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pada umumnya fraksi kasar (*coarse aggregate*) dan fraksi medium (*medium aggregate*) digolongkan sebagai agregat kasar. Berdasarkan SNI-03-1969-2008, prosedur untuk dari percobaan berat jenis agregat kasar adalah sebagai berikut :

1. Ambil benda uji yaitu agregat tertahan No.8, timbang kira-kira sebanyak 2,5 kg.
  2. Cuci benda uji hingga tidak ada debu atau bahan-bahan lain yang menempel pada permukaan agregat.
  3. Keringkan benda uji dengan menggunakan sinar matahari sampai berat tetap.
  4. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama  $\pm 2$  jam, kemudian timbang, hasil ini disebut berat kering (Bk).
  5. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama  $\pm 24$  jam.
  6. Keluarkan benda uji dalam air, keringkan dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (SSD). Untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu.
  7. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (Bj).
  8. Letakkan benda uji di dalam keranjang, lalu masukkan kedalam air dan guncang batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap, kemudian tentukan beratnya di dalam air (Ba).
  9. Hitung berat jenis bulk, berat jenis apparent dan berat jenis SSD dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan.
- C. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Agregat halus terdiri atas pasir alam dan abu batu (*Fine aggregate*) dan harus disediakan dalam ukuran nominal maksimum 2,36 mm. Adapun berdasarkan SNI-03-1970-2008, prosedur percobaan untuk berat jenis agregat halus sebagai berikut:

1. Keringkan benda uji yaitu agregat yang lolos saringan No.4 sebanyak 500 gr kedalam oven pada suhu  $110 \pm 50C$  sampai berat tetap. Berat tetap adalah keadaan berat benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dalam waktu 2 jam berturut-turut, tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih besar dari pada 0,1 %. Dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama 24 jam.
2. Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat diatas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji. Lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.
3. Untuk mengetahui apakah sudah kering permukaan jenuh lakukan dengan cara mengisi benda uji kedalam cone (kerucut terpancung), lalu padatkan dengan batang penumbukan sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung. Jika benda uji runtuh tetapi masih daam keadan tercetak berrati kering permukaan jenuh sudah tercapai. Dan timbang berat benda uji kering permukaan jenuh. Masukkan benda uji kedalam piknometer. Masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya. Untuk mempercepat proses ini dapat digunakan
4. pompa hampa udara, tetapi harus diperhatikan jangan sampai ada air yang terhisap, dapat juga dilakukan dengan merebus piknometer.
5. Timbang piknometer berisi air dan benda uji (Bt)
6. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu  $110 \pm 50C$  sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji.
7. Setelah benda uji dingin kemudian timbanglah (Bk).

8. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dengan suhu 25 °C (B).
9. Hitung berat jenis bulk, berat jenis apparent dan berat jenis SSD dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan.

#### D. Pemeriksaan Filler

Filler yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu cangkang sawit yang kering dan lolos saringan no.200. Bahan pengisi (*filler*) diayak dan dipisahkan dengan bahan-bahan yang tidak dikehendaki. Filler diyakini dapat memperbaiki adhesi antara agregat dan aspal. Standar pengujian yang digunakan adalah AASHTO T- 85-81 dan SNI M-0201994-03.

#### 3. *Job Mix Design* Campuran Aspal

Setelah semua agregat halus, agregat kasar dan *filler* yang telah melewati proses pemeriksaan dan telah memenuhi persyaratan, maka selanjutnya dilakukan perencanaan campuran aspal (*job mix design*) yang kemudian dilanjutkan dengan membuat benda uji. *Job mix design* yaitu kegiatan merancang proporsi campuran yang meliputi penentuan proporsi fraksi agregat kasar dan fraksi agregat halus, penentuan kadar aspal dan juga proporsi *filler* sesuai dengan ketentuan persentase fraksi agregat kasar + persentase fraksi agregat halus + persentase filler = 100%.

#### 4. Pembuatan Benda Uji

Prosedur pembuatan sampel benda uji dibagi menjadi 1 tahap, yaitu sebagai berikut :

Setelah didapat kadar aspal optimum maka dilakukan pembuatan benda uji dengan proporsi fraksi agregat kasar, fraksi agregat halus dan filler abu cangkang kelapa sawit sesuai *job mix design* yang telah dirancang. Dan juga dengan KAO yang

telah di dapat dari pengujian sebelumnya. Langkah-langkah yang dapat dilakukan pada pembuatan benda uji yaitu :

- a. Masukkan agregat kasar, agregat halus dan filler abu cangkang sawit ke dalam kuili sesuai perencanaan dan kemudian aduk dan panaskan hingga mencapai suhu  $150^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 3.1 pencampuran agregat  
Sumber : Penelitian Laboratorium

- b. Kemudian masukkan aspal cair dengan berat sesuai perencanaan dan aduk rata hingga tercampur dengan baik sambil dipanaskan diatas kompor.



Gambar 3.2 pemanasan agregat dengan kompor  
Sumber : Penelitian Laboratorium



Gambar 3.3 pencampuran agregat dengan aspal  
Sumber : Penelitian Laboratorium

- c. Selanjutnya masukkan campuran ke dalam mould penumbuk, kemudian ditusuk-tusuk sebanyak 15 kali. Lalu tumbuk/padatkan 75 kali di kedua sisi benda uji lalu diamkan hingga mencapai suhu ruang.



Gambar 3.4 Penumbukan Benda Uji  
Sumber : Penelitian Laboratorium

- d. Setelah benda uji padat dan mencapai suhu ruang segera keluarkan benda uji dari cetakan dan lalu timbang dalam keadaan kering.



Gambar 3.5 penimbangan benda uji  
Sumber : Penelitian Laboratorium

- e. Kemudian semua benda uji di rendam di dalam bak perendaman selama 24 jam agar jenuh air.



Gambar 3.6 Perendaman Benda Uji  
Sumber : Penelitian Laboratorium

- f. Setelah direndam 24 jam, bagian luar benda uji di lap sehingga kering permukaan dan ditimbang.



Gambar 3.7 Penimbangan Benda Uji  
Sumber : Penelitian Laboratorium

- g. Melakukan Perendaman Benda Uji Dalam WaterBath Sebelum Dilakukan Pengujian Marshall.



Gambar 3.8 Perendaman Benda Uji Dalam WaterBath  
Sumber : Penelitian Laboratorium

h. Tahap terakhir adalah melakukan test marshall



Gambar 3.9 Pengujian Marshall Test  
Sumber : Penelitian Laboratorium

#### 5. Pengujian *Marshall Test*

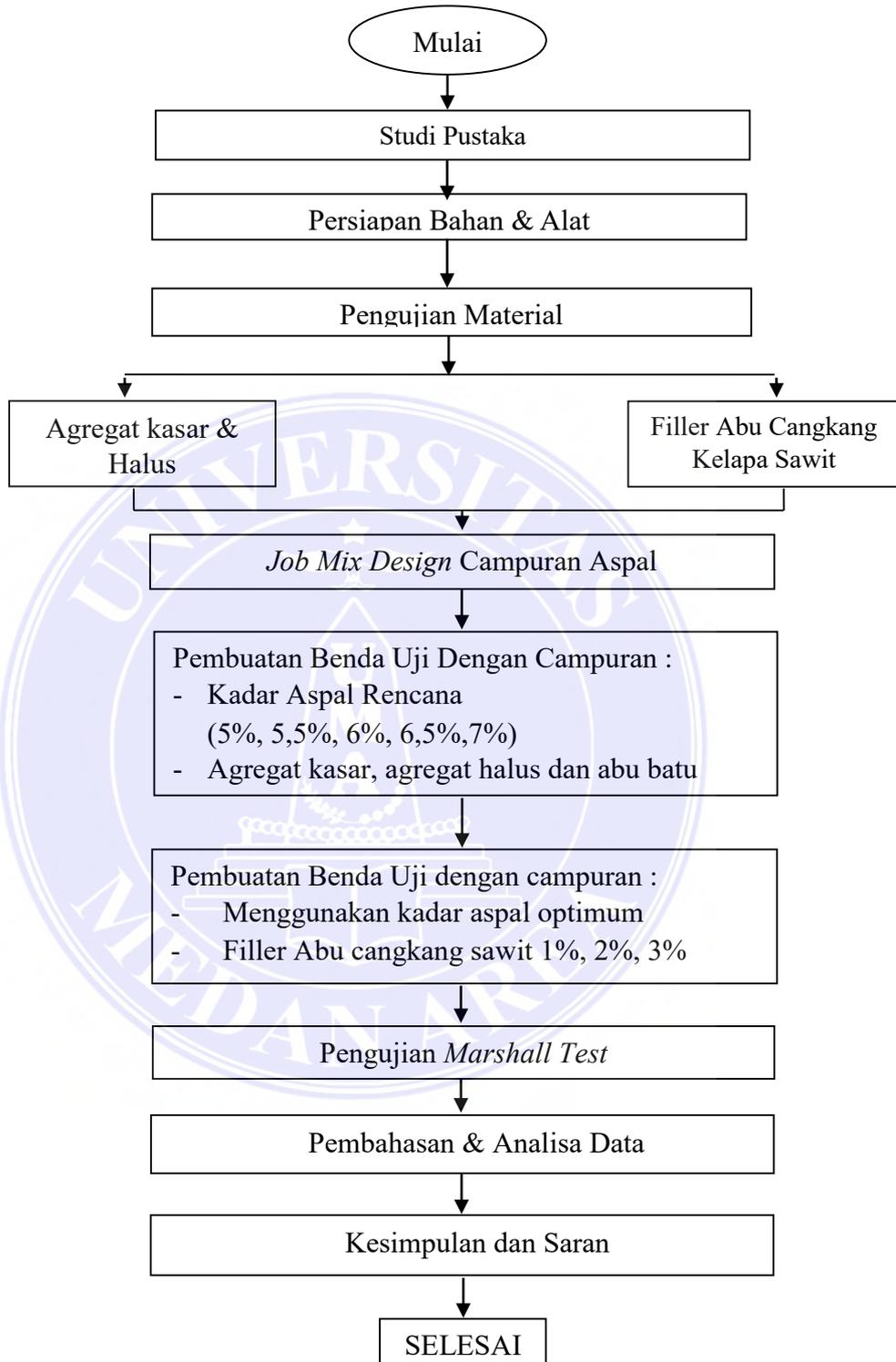
Pengujian marshall test ini dilakukan untuk benda uji penentuan KAO dan juga benda uji dengan variasi perendaman.

Langkah dalam Marshall test adalah (1) Benda uji dikeluarkan dari water bath kemudian diletakkan pada alat Marshall untuk dilakukan pengujian; (2) Letakkan benda uji tepat pada bagian bawah kepala penekan dan lalu masukkan bagian atas kepala penekan. Setelah pemasangan sudah lengkap maka letakkan kepala penekan ditengah alat pembebanan; (3) Kemudian pasang arloji *flow meter* dan hidupkan mesin marshall; (4) Penekan dinaikkan hingga menyentuh atas cincin penguji; (5) Pembebanan dilakukan pada kecepatan tetap 51 mm per menit. Perhatikan arloji flow dan arloji stability hingga arloji stability berhenti di suatu angka dan arloji flow meter berputar melambat. Dan lakukan pembacaan.

Cara pembacaan arloji stability yaitu berdasarkan jarum arloji yang berhenti dan menunjukkan suatu angka dan sedangkan pembacaan arloji flowmeter yaitu berdasarkan putaran jarumnya, 1 putaran bernilai 1 mm; dan (6) Setelah pengujian selesai, benda uji dikeluarkan, dan hitung nilai VIM, VFA, VMA, bulk density, MQ dan *durability index* dari masing-masing perendaman.



Adapun diagram alir penelitiannya adalah sebagai berikut :



Bagan Alir Penelitian.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Dari spesifikasi Bina Marga 2018 dan Berdasarkan nilai marshal yang telah didapatkan pada penelitian “ *Analisis Pengaruh Pengganti Filler dengan Abu Cangkang Sawit Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal*”, didapatkan nilai MQ pada benda uji dengan *filler* 1% yaitu :

- (a) kadar aspal 5% = 356 kn/mm.
- (b) kadar aspal 5,5% = 304 kn/mm.
- (c) kadar aspal 6% = 298 kn/mm.
- (d) kadar aspal 6,5% = 233 kn/mm.
- (e) kadar aspal 7% = 187 kn/mm dan mendapatkan nilai rata-rata sebesar 290 kn/mm dengan kadar aspal optimum 5,98%.

Nilai MQ pada benda uji dengan *filler* 2% yaitu :

- (a) kadar aspal 5% = 357 kn/mm.
- (b) kadar aspal 5,5% = 307 kn/mm.
- (c) kadar aspal 6% = 303 kn/mm.
- (d) kadar aspal 6,5% = 253 kn/mm.
- (e) kadar aspal 7% = 206 kn/mm dan mendapatkan nilai rata-rata sebesar 293 kn/mm dengan kadar aspal optimum 6,01%.

Nilai MQ pada benda uji dengan *filler* 3% yaitu :

- (a) kadar aspal 5% = 361 kn/mm.
- (b) kadar aspal 5,5% = 319 kn/mm.
- (c) kadar aspal 6% = 303 kn/mm.
- (d) kadar aspal 6,5% = 259 kn/mm.
- (e) kadar aspal 7% = 205 kn/mm dan mendapatkan nilai rata-rata sebesar 293 kn/mm dengan kadar aspal optimum 6,03%.

Dari hasil pengujian marshall yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa pada benda uji dengan kadar filler 3% mendapatkan hasil yang lebih tinggi, serta penambahan abu cangkang kelapa sawit pada pembuatan benda uji tidak mempengaruhi karakteristik pada pembuatan benda uji aspal pada umumnya. Dengan demikian limbah abu cangkang sawit bisa digunakan sebagai bahan campuran pembuatan aspal dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah abu cangkang kelapa sawit.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan setelah melihat hasil dan hambatan-hambatan yang dilalui dalam penelitian ini ialah:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat mengevaluasi terhadap abu cangkang sawit sebagai bahan campuran aspal dikarenakan untuk mendapatkan abu cangkang sawit sedikit lebih sulit didapatkan.
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan filler abu cangkang kelapa sawit dengan komposisi filler yang memiliki variasi misalnya menggunakan variasi filler 4%, 5%, 6% atau lebih
3. Dari pengujian nilai durabilitas ini diharapkan dapat menambah wawasan dan informasi mengenai bagaimana hubungan nilai durabilitas dan nilai marshall.

4. Dan dari hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi petunjuk kepada pengguna jasa yang bergerak pada bidang jasa konstruksi, khususnya perkerasan jalan raya.

## DAFTAR PUSTAKA

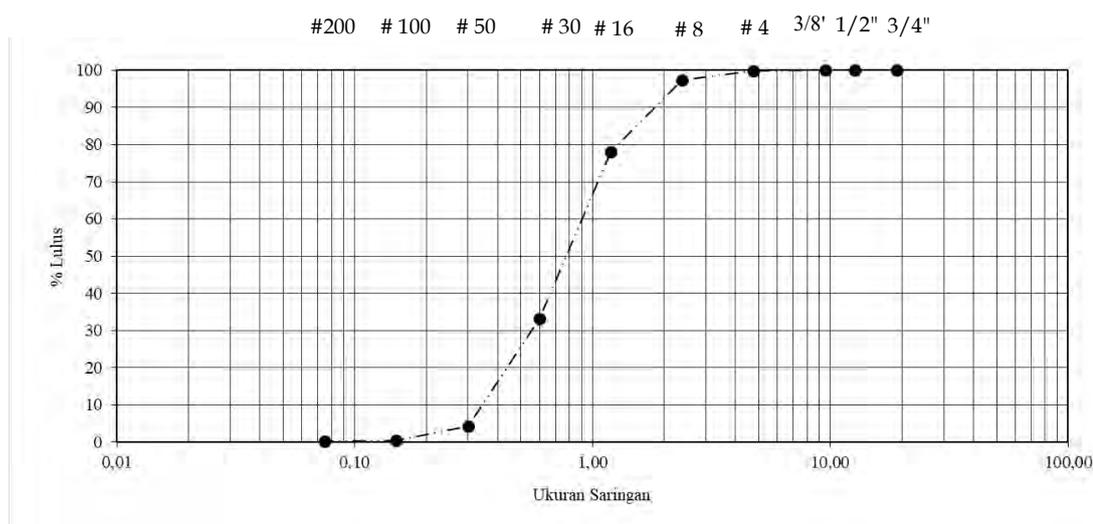
- Arthur Wignall, Peter S, Kendrick, Roy Ancill, Malcolm Copson, *Proyek Jalan Teori dan Praktek Edisi Keempat*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Bina Marga. 2018., *Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Divisi 6*. Kementerian PUPR, Jakarta.
- Diretur Jendral Bina Marga, *spesifikasi umum jalan*, jakarta, 2005.
- Hardiyatmo, H. Christady., 2015, *Pemeliharaan Jalan Raya Edisi 2*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Lubis, Kamaluddin., 2017, *Buku Pedoman Praktikum Bahan Perkerasan*. Universitas Medan Area, Medan.
- Lusyana, Mukhlis, Syaifullah Ali, Fauna Adibroto, Zikri Durhamen. 2019. *Analisis Kinerja Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Campuran Aspal Concrete Wearing Course (AC-WC) Dengan Cangkang Sawit Sebagai Substitusi Agregat Halus*. Universitas Sultan Agung Tirtayasa: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Volume 8 Nomor 1, Oktober 2019.
- Modul RDE -12: *Bahan Perkerasan jalan, departemen pekerjaan umum. Badan pembinaan konstruksi dan sumber daya manusia, pusat peminan kompetensi dan pelatihan konstruksi (PUSBIN-KPK)*
- Puri, Anas., 2016, *Pengaruh Penambahan Abu Sawit Sebagai bahan Pengisi Terhadap Karakteristik Marshall Material Beton Aspal*, Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Sukirman, Silvia., 2016, *Beton Aspal Campuran Panas*, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Yelvi, 2015, *Evaluasi Kinerja Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) Memakai Limbah Abu Sawit Sebagai Filler*, Politeknik Negeri Padang, Padang

### LAMPIRAN 1

#### Analisa Saringan Agregat Filler 1%

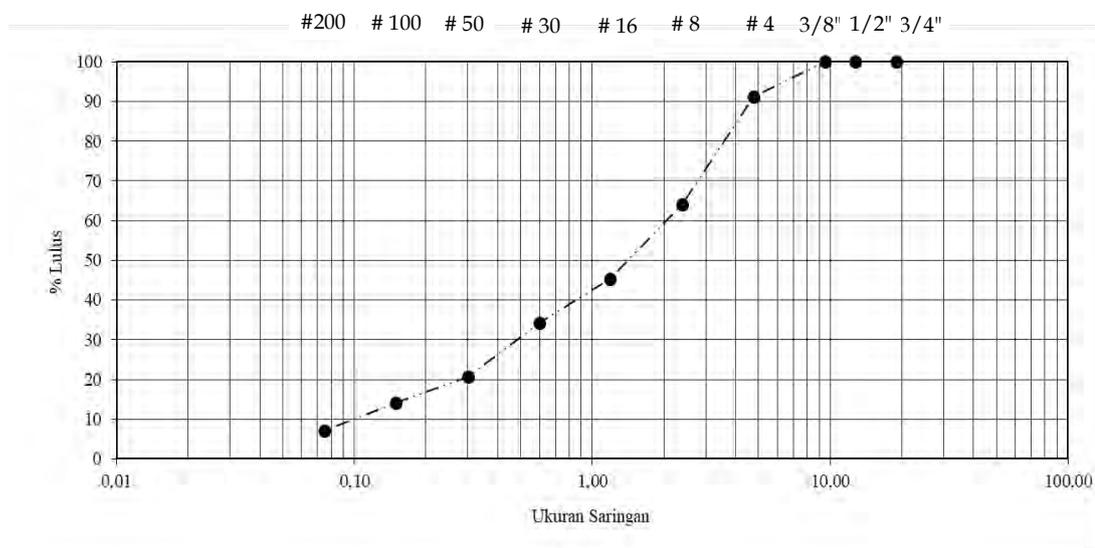
Pasir Alami									
Saringan	Berat Sampel : 1121,4 gr.				Berat Sampel : 1215,7 gr.				Rata-Rata
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Kumulatif			
Mm	inch	Wt.Ret	%Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100
12,70	1/2"	0	0	100	1/2"	0	0	100	100
9,52	3/8"	0	0	100	3/8"	0	0	100	100
4,76	#4	2,0	0,18	99,82	#4	3,4	0,28	99,72	99,77
2,38	#8	30,8	2,75	97,25	#8	28,8	2,37	97,63	97,44
1,19	#16	248,1	22,12	77,88	#16	263,6	21,68	78,32	78,10
0,60	#30	756,0	67,42	32,58	#30	805,8	66,28	33,72	33,15
0,30	#50	1074,6	95,83	4,17	#50	1166,5	95,95	4,05	4,11
0,15	#100	1115,6	99,48	0,52	#100	1210,4	99,56	0,44	0,48
0,075	#200	1119,6	99,84	0,16	#200	1214,5	99,90	0,10	0,13

Sumber : Penelitian Laboratorium



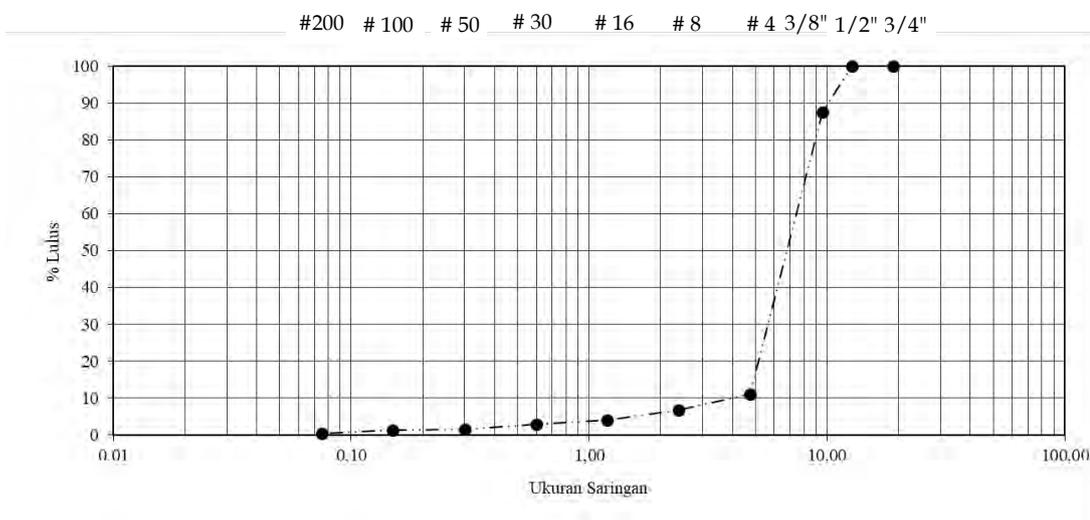
Abu Batu									
Saringan	Berat Sampel : 1872,2 gr.				Berat Sampel : 1687,1 gr.				Rata-Rata
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Sampel			
Mm	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100
12,70	1/2"	0	0	100	1/2"	0	0	100	100
9,52	3/8"	0	0	100	3/8"	0	0	100	100
4,76	#4	170,70	9,12	90,88	#4	141,40	8,38	91,62	91,25
2,38	#8	674,4	36,02	63,98	#8	602,0	35,68	64,32	64,15
1,19	#16	1006,9	53,78	46,22	#16	940,1	55,72	44,28	45,25
0,60	#30	1227,8	65,58	34,42	#30	1115,5	66,12	33,88	34,15
0,30	#50	1477,0	78,89	21,11	#50	1345,5	79,75	20,25	20,68
0,15	#100	1610,5	86,02	13,98	#100	1445,5	85,68	14,32	14,15
0,075	#200	1735,2	92,68	7,32	#200	1569,3	93,02	6,98	7,15

Sumber : Penelitian Laboratorium



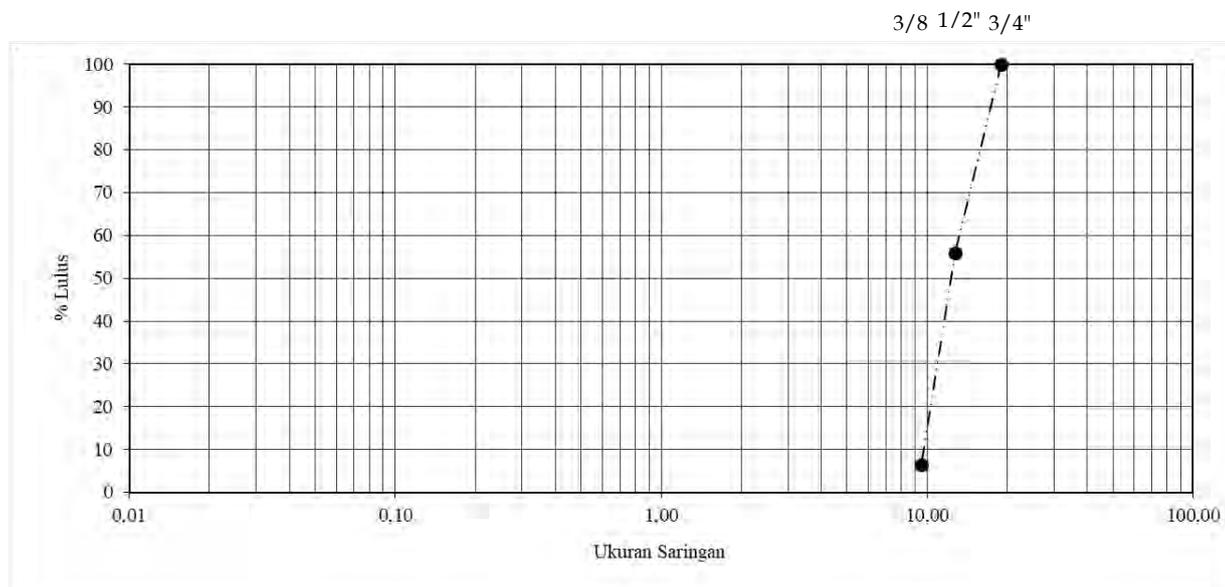
MEDIUM AGGREGATE 1/2"										
Saringan	Berat Sampel : 3845 gr.					Berat Sampel : 3655 gr.				
	Saringan		Berat Kumulatif			Saringan		Berat Kumulatif		
mm	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass		
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100	
12,70	1/2"	0	0	100	1/2"	0	0	100	100	
9,52	3/8"	504	13,11	86,89	3/8"	438	11,98	88,02	87,45	
4,76	#4	3423	89,02	10,98	#4	3246	88,81	11,19	11,08	
2,38	#8	3590	93,37	6,63	#8	3400	93,02	6,98	6,80	
1,19	#16	3687	95,89	4,11	#16	3509	96,01	3,99	4,05	
0,60	#30	3731	97,04	2,96	#30	3551	97,15	2,85	2,91	
0,30	#50	3787	98,49	1,51	#50	3594	98,33	1,67	1,59	
0,15	#100	3793	98,65	1,35	#100	3608	98,71	1,29	1,32	
0,075	#200	3834	99,71	0,29	#200	3640	99,59	0,41	0,35	

Sumber : Penelitian Laboratorium



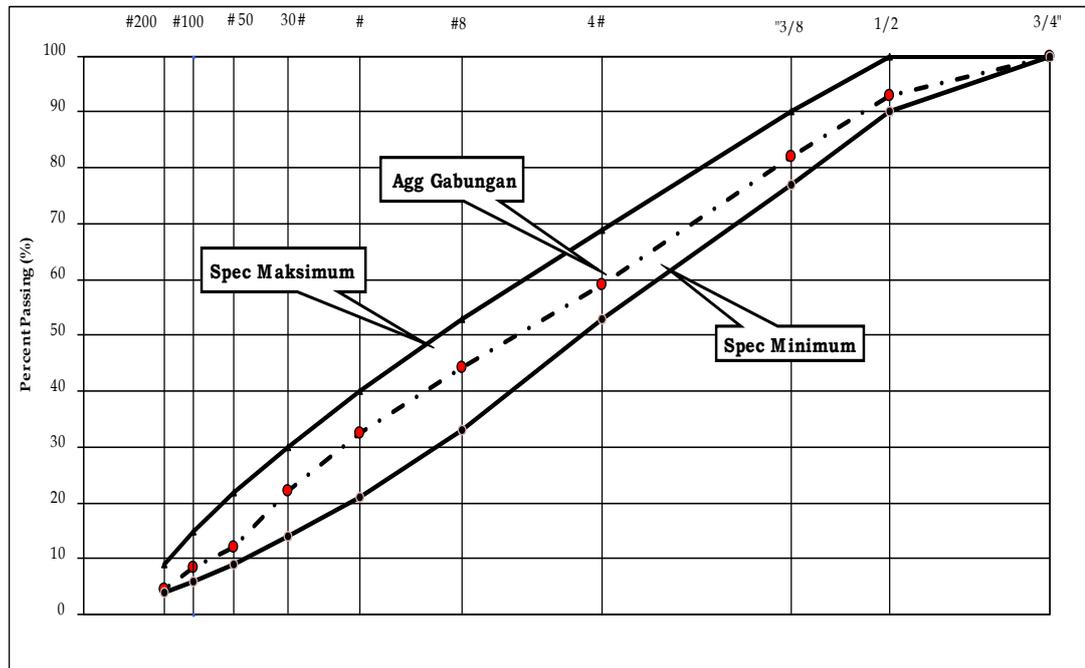
COARSE AGGREGATE 3/4"									
Saringan	Berat Sampel : 5151 gr.				Berat Sampel : 5235 gr.				Rata-Rata
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Kumulatif			
mm	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100
12,70	1/2"	2255	43,78	56,22	1/2"	2331	44,53	55,47	55,85
9,52	3/8"	4831	93,79	6,21	3/8"	4885	93,31	6,69	6,45
4,76	#4				#4				
2,38	#8				#8				
1,19	#16				#16				
0,60	#30				#30				
0,30	#50				#50				
0,15	#100				#100				
0,075	#200				#200				

Sumber : Penelitian Laboratorium



### GRADASI GABUNGAN AGREGAT

Uraian											
Inch	3/4 "	1/2 "	3/8 "	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200	
Milimeter	19,05	12,7	9,53	4,76	2,38	1,19	0,60	0,30	0,15	0,075	
<b>Gradasi Agregat</b>											
Natural Sand	100	100	100	99,77	97,44	78,10	33,15	4,11	0,48	0,13	
Stone Dust	100	100	100	91,25	64,15	45,25	34,15	20,68	14,15	7,15	
Medium Aggregate	100	100	87,45	11,08	6,80	4,05	2,91	1,59	1,32	0,35	
Coarse Aggregate	100	55,85	6,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cangkang Sawit	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
<b>Komposisi</b>											
Natural Sand	<b>10%</b>	10	10,00	10,00	9,98	9,74	7,81	3,32	0,41	0,05	0,01
Stone Dust	<b>50%</b>	50	50,00	50,00	45,63	32,07	22,62	17,08	10,34	7,07	3,57
Medium Aggregate	<b>23%</b>	23	23,00	20,11	2,55	1,57	0,93	0,67	0,37	0,30	0,08
Coarse Aggregate	<b>16%</b>	16	8,94	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cangkang Sawit	<b>1%</b>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Gradasi Agg. Gabungan</b>	<b>100,00</b>	<b>92,94</b>	<b>82,15</b>	<b>59,15</b>	<b>44,38</b>	<b>32,37</b>	<b>22,06</b>	<b>12,12</b>	<b>8,43</b>	<b>4,67</b>	
<b>Spesifikasi</b>											
Maksimum	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>90,0</b>	<b>69,0</b>	<b>53,0</b>	<b>40,0</b>	<b>30,0</b>	<b>22,0</b>	<b>15,0</b>	<b>9,0</b>	
Minimum	<b>100,0</b>	<b>90,0</b>	<b>77,0</b>	<b>53,0</b>	<b>33,0</b>	<b>21,0</b>	<b>14,0</b>	<b>9,0</b>	<b>6,0</b>	<b>4,0</b>	

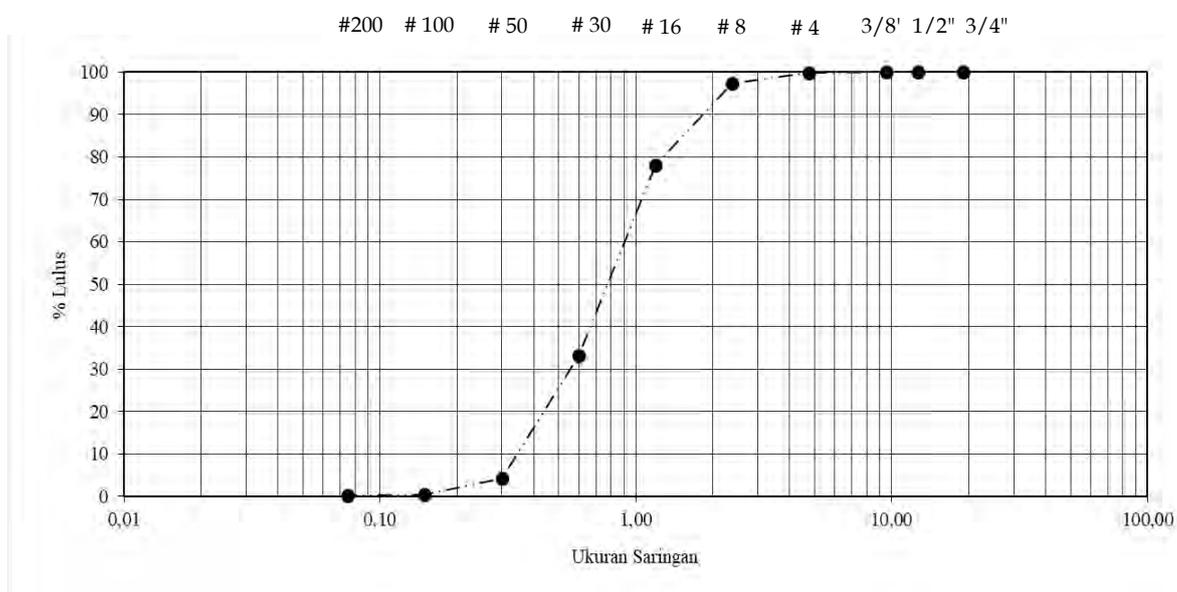


Sumber : Penelitian Laboratorium

### Analisa Saringan Filler 2%

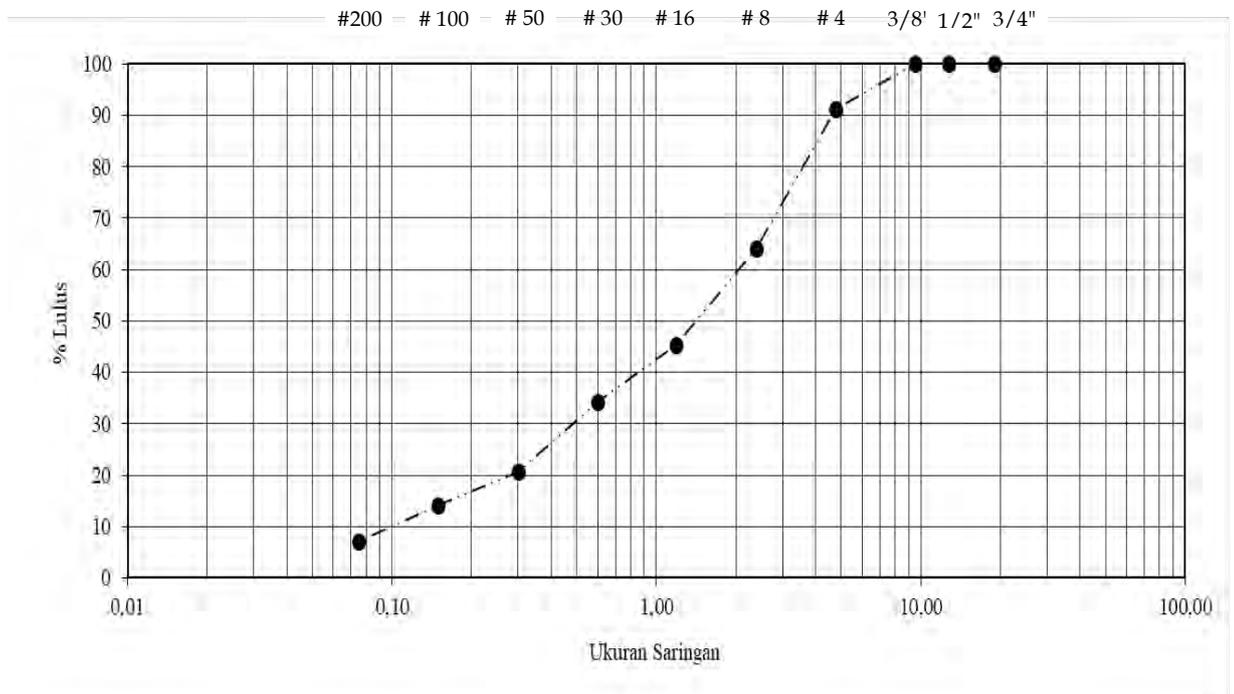
Pasir Alami									
Saringan	Berat Sampel : 1121,4 gr.				Berat Sampel : 1215,7 gr.				Rata-Rata
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Kumulatif			
mm	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100
12,70	1/2"	0	0	100	1/2"	0	0	100	100
9,52	3/8"	0	0	100	3/8"	0	0	100	100
4,76	#4	2,0	0,18	99,82	#4	3,4	0,28	99,72	99,77
2,38	#8	30,8	2,75	97,25	#8	28,8	2,37	97,63	97,44
1,19	#16	248,1	22,12	77,88	#16	263,6	21,68	78,32	78,10
0,60	#30	756,0	67,42	32,58	#30	805,8	66,28	33,72	33,15
0,30	#50	1074,6	95,83	4,17	#50	1166,5	95,95	4,05	4,11
0,15	#100	1115,6	99,48	0,52	#100	1210,4	99,56	0,44	0,48
0,075	#200	1119,6	99,84	0,16	#200	1214,5	99,90	0,10	0,13

Sumber : Penelitian Laboratorium



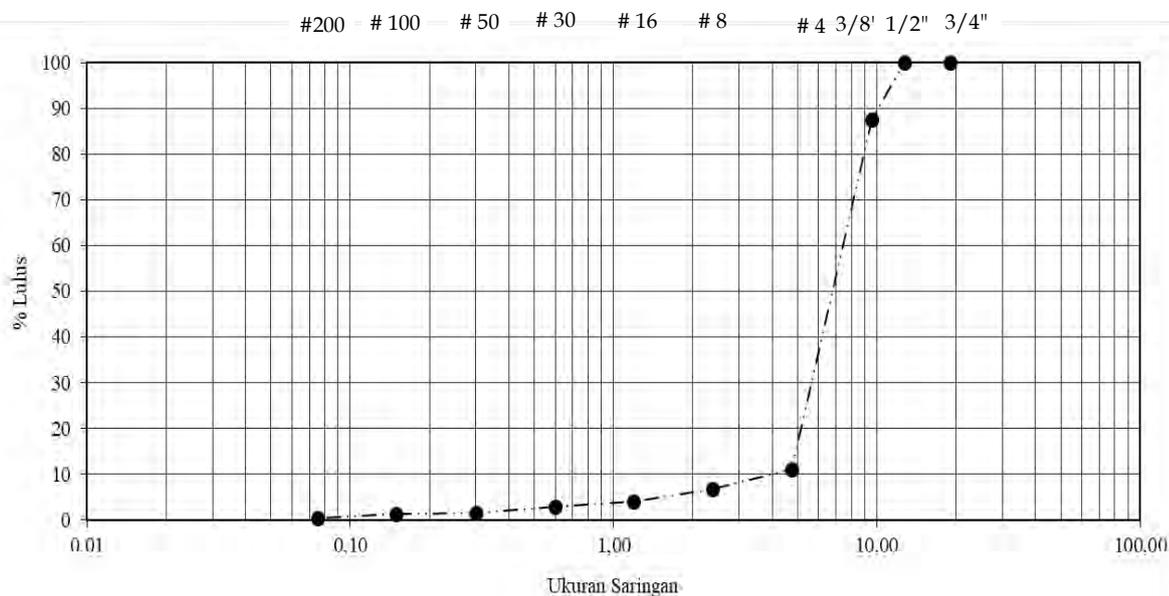
Abu Batu									
Saringan	Berat Sampel : 1872,2 gr.				Berat Sampel : 1687,1 gr.				Rata-Rata
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Kumulatif			
mm	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100
12,70	1/2"	0	0	100	1/2"	0	0	100	100
9,52	3/8"	0	0	100	3/8"	0	0	100	100
4,76	#4	170,70	9,12	90,88	#4	141,40	8,38	91,62	91,25
2,38	#8	674,4	36,02	63,98	#8	602,0	35,68	64,32	64,15
1,19	#16	1006,9	53,78	46,22	#16	940,1	55,72	44,28	45,25
0,60	#30	1227,8	65,58	34,42	#30	1115,5	66,12	33,88	34,15
0,30	#50	1477,0	78,89	21,11	#50	1345,5	79,75	20,25	20,68
0,15	#100	1610,5	86,02	13,98	#100	1445,5	85,68	14,32	14,15
0,075	#200	1735,2	92,68	7,32	#200	1569,3	93,02	6,98	7,15

Sumber : Penelitian Laboratorium



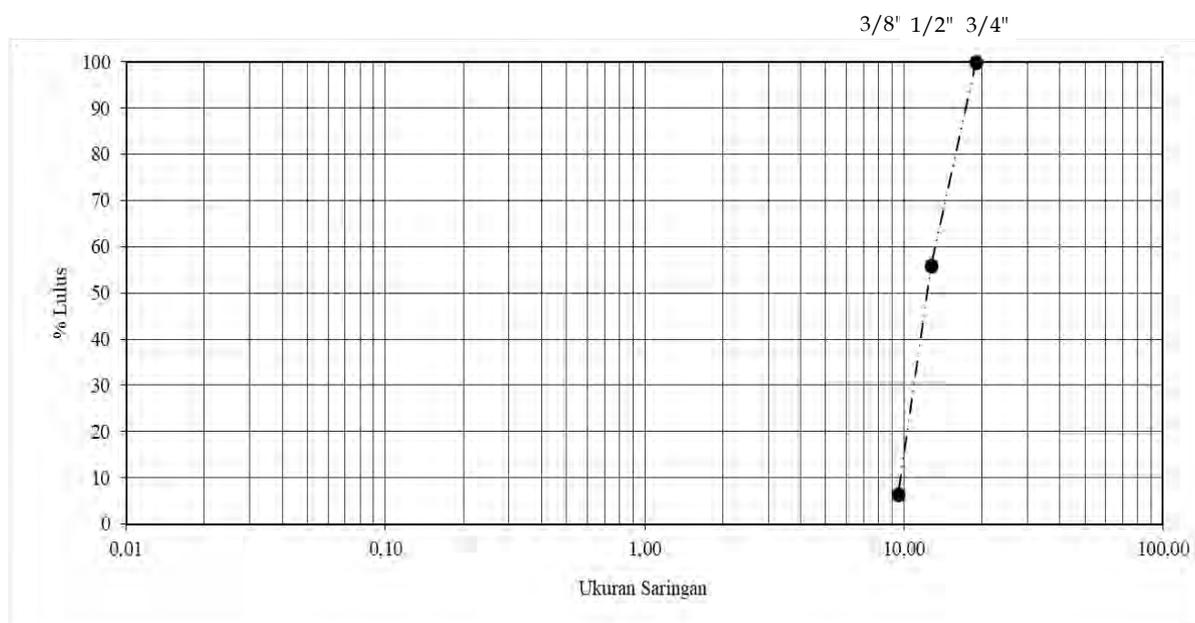
MEDIUM AGGREGATE 1/2"									
Saringan	Berat Sampel : 3845 gr.				Berat Sampel : 3655 gr.				Rata-Rata
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Kumulatif			
mm	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100
12,70	1/2"	0	0	100	1/2"	0	0	100	100
9,52	3/8"	504	13,11	86,89	3/8"	438	11,98	88,02	87,45
4,76	#4	3423	89,02	10,98	#4	3246	88,81	11,19	11,08
2,38	#8	3590	93,37	6,63	#8	3400	93,02	6,98	6,80
1,19	#16	3687	95,89	4,11	#16	3509	96,01	3,99	4,05
0,60	#30	3731	97,04	2,96	#30	3551	97,15	2,85	2,91
0,30	#50	3787	98,49	1,51	#50	3594	98,33	1,67	1,59
0,15	#100	3793	98,65	1,35	#100	3608	98,71	1,29	1,32
0,075	#200	3834	99,71	0,29	#200	3640	99,59	0,41	0,35

Sumber : Penelitian Laboratorium



COARSE AGGREGATE 3/4"										
Saringan	Berat Sampel : 5151 gr.					Berat Sampel : 5235 gr.				
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Kumulatif			Rata-Rata	
mm	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass		
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100	
12,70	1/2"	2255	43,78	56,22	1/2"	2331	44,53	55,47	55,85	
9,52	3/8"	4831	93,79	6,21	3/8"	4885	93,31	6,69	6,45	
4,76	#4				#4					
2,38	#8				#8					
1,19	#16				#16					
0,60	#30				#30					
0,30	#50				#50					
0,15	#100				#100					
0,075	#200				#200					

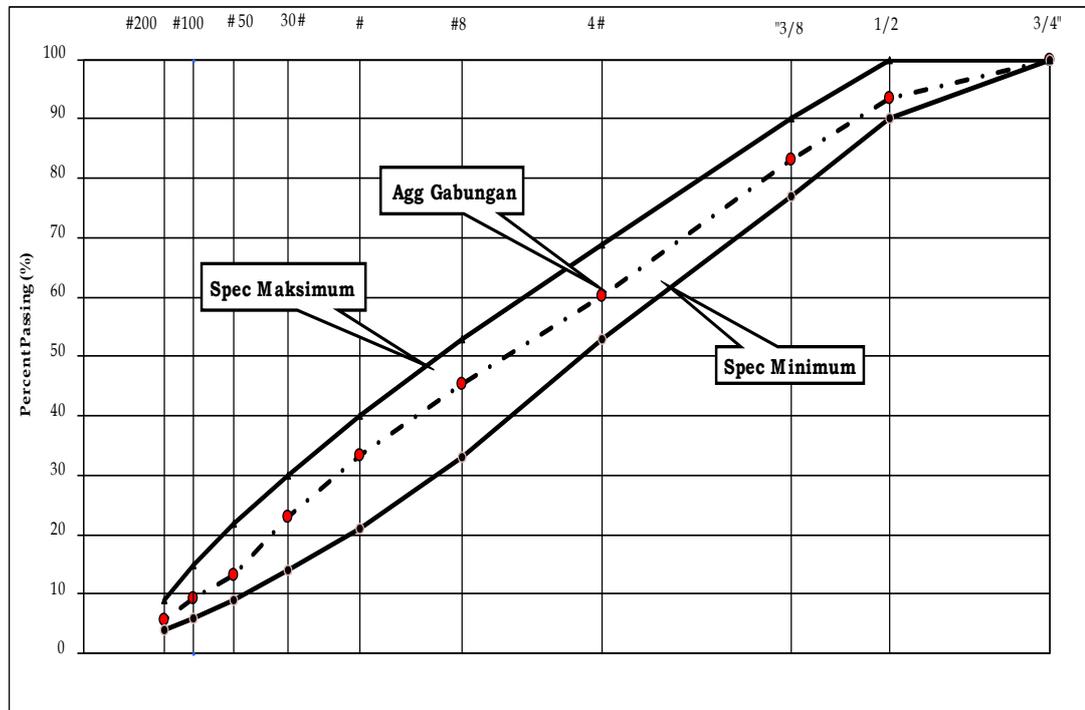
Sumber : Penelitian Laboratorium



GRADASI CAMPURAN AGREGAT

Uraian										
Inch	3/4 "	1/2 "	3/8 "	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Milimeter	19,05	12,7	9,53	4,76	2,38	1,19	0,60	0,30	0,15	0,075
<b>Gradasi Agregat</b>										
Natural Sand	100	100	100	99,77	97,44	78,10	33,15	4,11	0,48	0,13
Stone Dust	100	100	100	91,25	64,15	45,25	34,15	20,68	14,15	7,15
Medium Aggregate	100	100	87,45	11,08	6,80	4,05	2,91	1,59	1,32	0,35
Coarse Aggregate	100	55,85	6,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cangkang Sawit	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Komposisi</b>										
Natural Sand	10%	10	10,00	10,00	9,98	9,74	7,81	3,32	0,41	0,05
Stone Dust	50%	50	50,00	50,00	45,63	32,07	22,62	17,08	10,34	7,07
Medium Aggregate	23%	23	23,00	20,11	2,55	1,57	0,93	0,67	0,37	0,30
Coarse Aggregate	15%	15	8,38	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cangkang Sawit	2%	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
<b>Gradasi Agg. Gabungan</b>	<b>100,00</b>	<b>93,38</b>	<b>83,08</b>	<b>60,15</b>	<b>45,38</b>	<b>33,37</b>	<b>23,06</b>	<b>13,12</b>	<b>9,43</b>	<b>5,67</b>
<b>Spesifikasi</b>										
Maksimum	100,0	100,0	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0	9,0
Minimum	100,0	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0	4,0

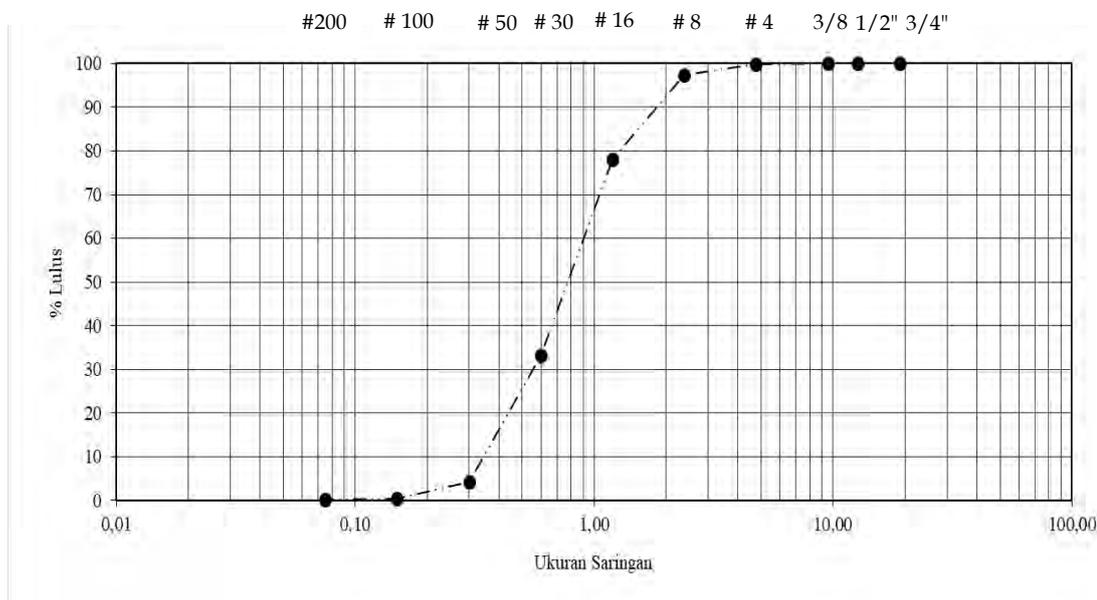
Sumber : Penelitian Laboratorium



### Analisa Saringan Filler 3%

PASIR ALAMI									
Saringan	Berat Sampel : 1121,4 gr.				Berat Sampel : 1215,7 gr.				Rata-Rata
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Kumulatif			
mm	Inch	Wt.ret	% ret.	% pass	Inch	Wt.ret	% ret	% pass	
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100
12,70	1/2"	0	0	100	1/2"	0	0	100	100
9,52	3/8"	0	0	100	3/8"	0	0	100	100
4,76	#4	2,0	0,18	99,82	#4	3,4	0,28	99,72	99,77
2,38	#8	30,8	2,75	97,25	#8	28,8	2,37	97,63	97,44
1,19	#16	248,1	22,12	77,88	#16	263,6	21,68	78,32	78,10
0,60	#30	756,0	67,42	32,58	#30	805,8	66,28	33,72	33,15
0,30	#50	1074,6	95,83	4,17	#50	1166,5	95,95	4,05	4,11
0,15	#100	1115,6	99,48	0,52	#100	1210,4	99,56	0,44	0,48
0,075	#200	1119,6	99,84	0,16	#200	1214,5	99,90	0,10	0,13

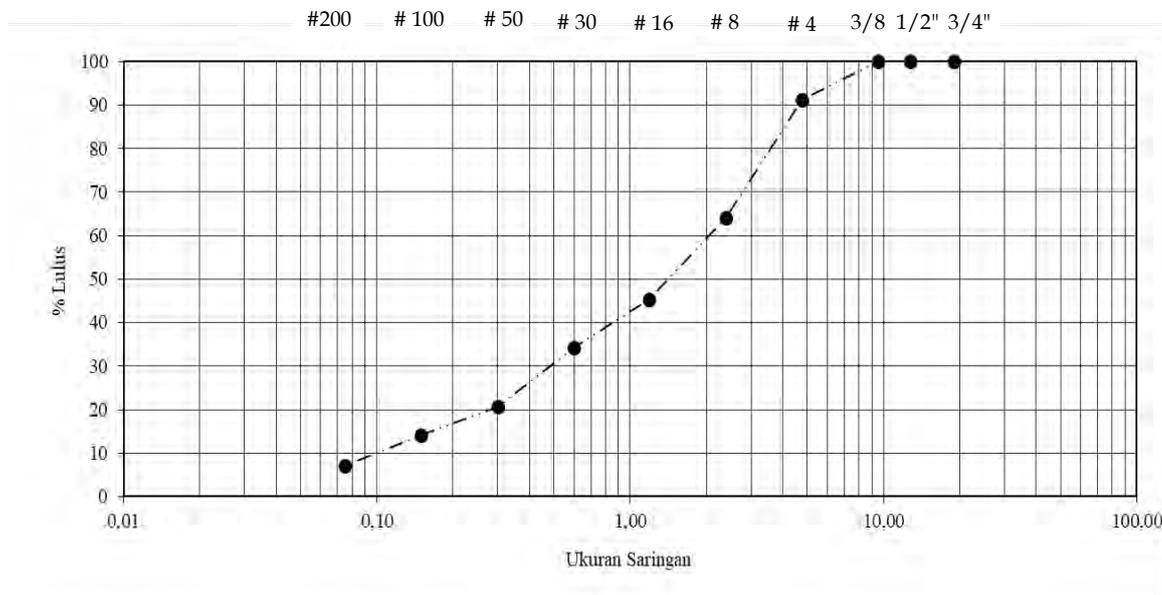
Sumber : Penelitian Laboratorium



STONE DUST

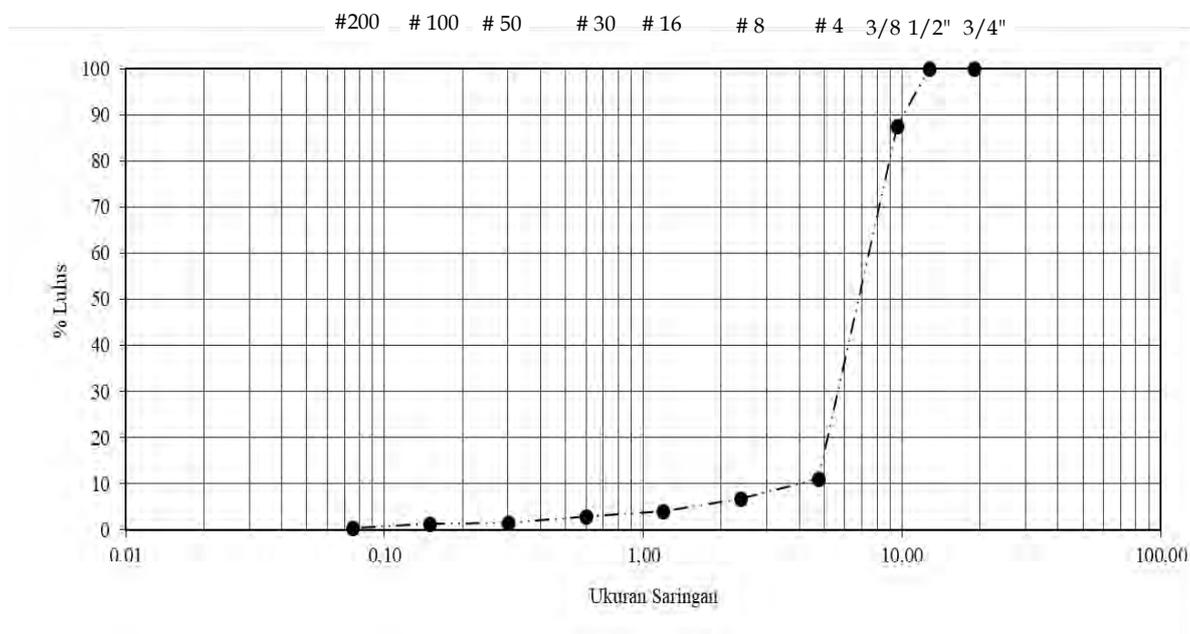
Saringan	Berat Sampel : 1872,2 gr.				Berat Sampel : 1687,1 gr.				Rata-Rata
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Kumulatif			
mm	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100
12,70	1/2"	0	0	100	1/2"	0	0	100	100
9,52	3/8"	0	0	100	3/8"	0	0	100	100
4,76	#4	170,70	9,12	90,88	#4	141,40	8,38	91,62	91,25
2,38	#8	674,4	36,02	63,98	#8	602,0	35,68	64,32	64,15
1,19	#16	1006,9	53,78	46,22	#16	940,1	55,72	44,28	45,25
0,60	#30	1227,8	65,58	34,42	#30	1115,5	66,12	33,88	34,15
0,30	#50	1477,0	78,89	21,11	#50	1345,5	79,75	20,25	20,68
0,15	#100	1610,5	86,02	13,98	#100	1445,5	85,68	14,32	14,15
0,075	#200	1735,2	92,68	7,32	#200	1569,3	93,02	6,98	7,15

Sumber : Penelitian Laboratorium



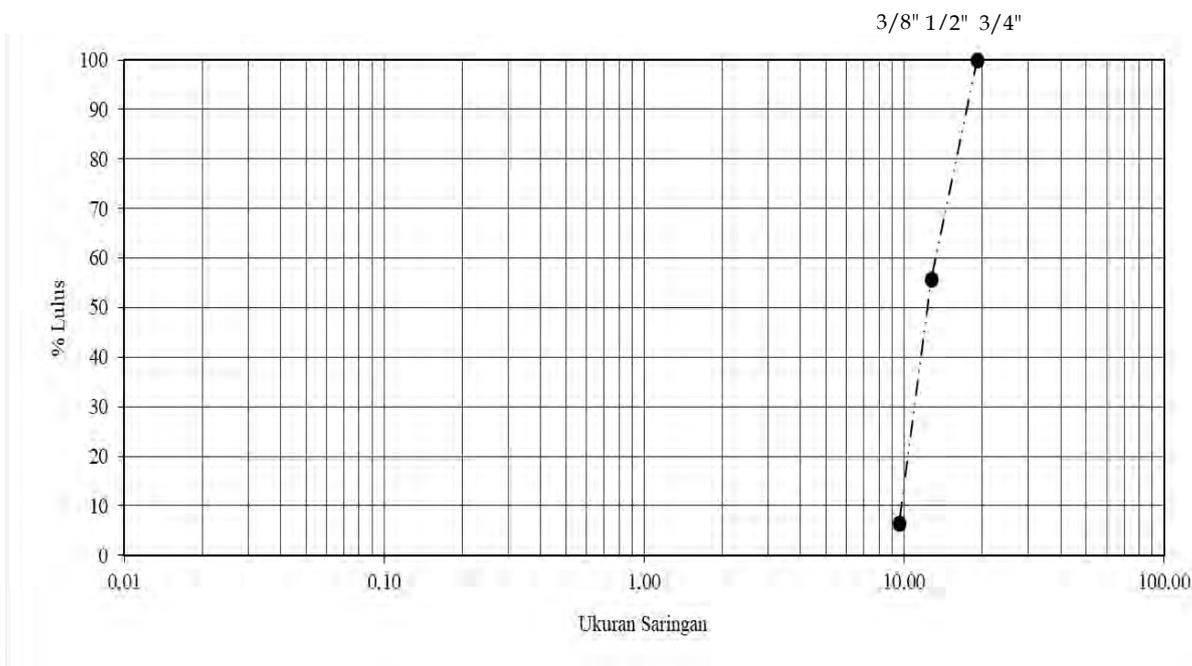
MEDIUM AGGREGATE 1/2"									
Saringan	Berat Sampel : 3845 gr.				Berat Sampel : 3655 gr.				Rata-Rata
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Kumulatif			
mm	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100
12,70	1/2"	0	0	100	1/2"	0	0	100	100
9,52	3/8"	504	13,11	86,89	3/8"	438	11,98	88,02	87,45
4,76	#4	3423	89,02	10,98	#4	3246	88,81	11,19	11,08
2,38	#8	3590	93,37	6,63	#8	3400	93,02	6,98	6,80
1,19	#16	3687	95,89	4,11	#16	3509	96,01	3,99	4,05
0,60	#30	3731	97,04	2,96	#30	3551	97,15	2,85	2,91
0,30	#50	3787	98,49	1,51	#50	3594	98,33	1,67	1,59
0,15	#100	3793	98,65	1,35	#100	3608	98,71	1,29	1,32
0,075	#200	3834	99,71	0,29	#200	3640	99,59	0,41	0,35

Sumber : Penelitian Laboratorium



COARSE AGGREGATE 3/4"									
Saringan	Berat Sampel : 5151 gr.				Berat Sampel : 5235 gr.				Rata-Rata
	Saringan	Berat Kumulatif			Saringan	Berat Kumulatif			
mm	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	inch	Wt.Ret	% Ret	% Pass	
19,00	3/4"	0	0	100	3/4"	0	0	100	100
12,70	1/2"	2255	43,78	56,22	1/2"	2331	44,53	55,47	55,85
9,52	3/8"	4831	93,79	6,21	3/8"	4885	93,31	6,69	6,45
4,76	#4				#4				
2,38	#8				#8				
1,19	#16				#16				
0,60	#30				#30				
0,30	#50				#50				
0,15	#100				#100				
0,075	#200				#200				

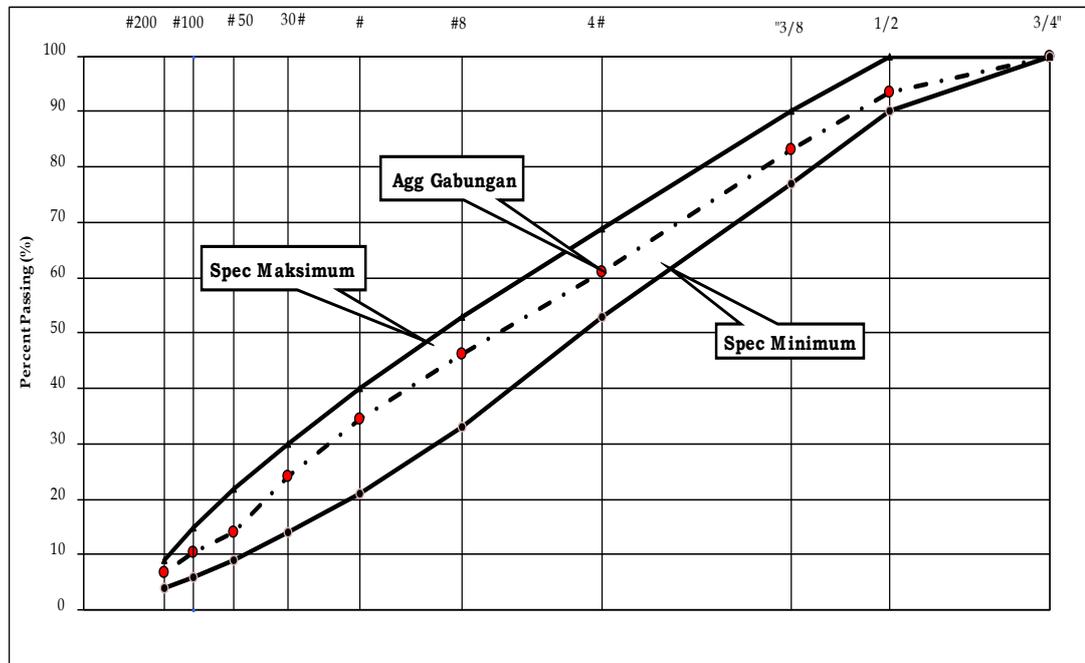
Sumber : Penelitian Laboratorium



### GRADASI CAMPURAN AGREGAT

Uraian										
Inch	3/4 "	1/2 "	3/8 "	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Milimeter	19,05	12,7	9,53	4,76	2,38	1,19	0,60	0,30	0,15	0,075
<b>Gradasi Agregat</b>										
Natural Sand	100	100	100	99,77	97,44	78,10	33,15	4,11	0,48	0,13
Stone Dust	100	100	100	91,25	64,15	45,25	34,15	20,68	14,15	7,15
Medium Aggregate	100	100	87,45	11,08	6,80	4,05	2,91	1,59	1,32	0,35
Coarse Aggregate	100	55,85	6,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cangkang Sawit	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Komposisi</b>										
Natural Sand	10%	10	10,00	10,00	9,98	9,74	7,81	3,32	0,41	0,05
Stone Dust	50%	50	50,00	50,00	45,63	32,07	22,62	17,08	10,34	7,07
Medium Aggregate	22%	22	22,00	19,24	2,44	1,50	0,89	0,64	0,35	0,29
Coarse Aggregate	15%	15	8,38	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cangkang Sawit	3%	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
<b>Gradasi Agg. Gabungan</b>	<b>100,00</b>	<b>93,38</b>	<b>83,21</b>	<b>61,04</b>	<b>46,32</b>	<b>34,32</b>	<b>24,03</b>	<b>14,10</b>	<b>10,41</b>	<b>6,66</b>
<b>Spesifikasi</b>										
Maksimum	100,0	100,0	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0	9,0
Minimum	100,0	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0	4,0

Sumber : Penelitian Laboratorium



## LAMPIRAN 2

### DOKUMENTASI PENELITIAN

#### Gambar Satu Set Saringan



Sumber : Penelitian Laboratorium

#### Gambar Spliter



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Timbangan



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Mesin ayakan



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Piknometer



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Nampan



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Kualii



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Spatula



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Cetakan Benda Uji



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Alat Penumbuk Benda Uji



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Dongkrak



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Bak Perendaman Benda Uji



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Alat Uji Marshall



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar WaterBath



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar kelapa sawit



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar pemisahan antara kulit dan cangkang kelapa sawit



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Cangkang Kelapa Sawit



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Proses Penjemuran Cangkang Kelapa sawit Setelah di Pecah



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Proses Pembakaran Cangkang Sawit



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Penghalusan Cangka Sawit Menjadi Abu Menggunakan Blender



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Abu Cangkang Sawit Setelah Dihaluskan



Sumber : Penelitian Laboratorium



Sumber : Penelitian Laboratorium

### Gambar Penimbangan Agregat Sebelum Dicampur Aspal



Sumber : Penelitian Laboratorium

### Gambar Proses Pembuatan Sampel aspal



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Sampel Aspal sebelum dicetak



Sumber : Penelitian Laboratorium

Gambar Benda Uji Setelah Dicetak



Sumber : Penelitian Laboratorium