

**PEMANFAATAN SERBUK BESI SEBAGAI BAHAN TAMBAH
AGREGAT HALUS TERHADAP NILAI STABILITAS UJI
MARSHALL DALAM CAMPURAN AC-WC**

SKRIPSI

Diajukan sebagai bahan Sidang Sarjana dan sebagai salah satu syarat

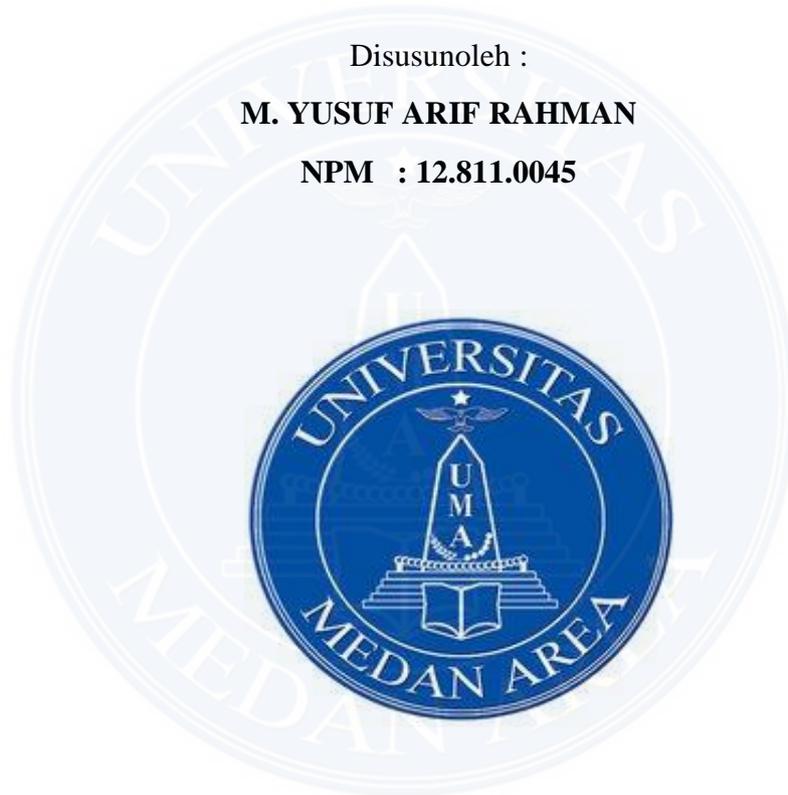
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil

Universitas Medan Area

Disusunoleh :

M. YUSUF ARIF RAHMAN

NPM : 12.811.0045



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2018**

**PEMANFAATAN SERBUK BESI SEBAGAI BAHAN TAMBAH
AGREGAT HALUS TERHADAP NILAI STABILITAS UJI
MARSHALL DALAM CAMPURAN AC-WC**

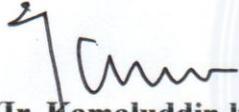
SKRIPSI

Disusun oleh :

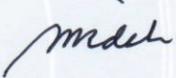
M. YUSUF ARIF RAHMAN
12.811.0045

Diketahui Oleh :

Dosen Pembimbing I


(Ir. Kamaluddin Lubis, MT)

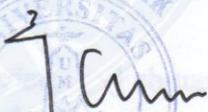
Dosen Pembimbing II


(Ir. Nurmaidah, MT)

Dekan Fakultas Teknik


(Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc)

Ka. Prodi Sipil


(Ir. Kamaluddin Lubis, MT)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2018**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya 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 ditulis sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

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

Medan, Februari 2018



M.YUSUF ARIF RAHMAN

12.811.0045

ABSTRAK

Karakteristik serbuk besi ini relatif berbeda dengan debu tanah kering yang biasa di jumpai pada musim kemarau. Maka dari itu serbuk besi bisa menjadi bahan tambah (*filler*) dalam campuran aspal AC-WC. Maksud (*filler*) terhadap nilai uji marshall campuran AC-WC.

Pada campuran AC-WC yang biasanya menggunakan filler semen portland, pada penulisan ini filler semen portland akan dibandingkan dengan menggunakan filler serbuk besi terhadap alat uji marshall dalam campuran AC-WC dengan menggunakan berat jenis agregat yang sama.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium dengan variasi kadar aspal rencana 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; 7,0%. Sampel yang digunakan berjumlah masing-masing 3 buah pada setiap variasi kadar aspal rencana. Sebelum pembuatan benda uji material agregat dan material aspal harus di uji terlebih dahulu dan pengujian benda uji menggunakan alat uji marshall test.

Untuk pembuatan benda uji dapat dilihat dari tabel hasil gradasi agregat gabungan. Tujuan dari pengujian dengan menggunakan alat uji marshall test adalah untuk mencari nilai stability, berat jenis bulk, dan kadar aspal optimumnya. Dari hasil penelitian perbandingan Marshall sisa dari kadar aspal optimum yang berbeda dapat disimpulkan untuk penggunaan semen portland sebagai *filler* dalam campuran ac-wc lebih baik nilai stabilitasnya dibandingkan dengan serbuk besi sebagai filler dalam campuran ac-wc 1105 kg berbanding dengan 1095 kg.

Kata Kunci : *filler*, asphalt concrete – wearing course, semen portland, serbuk besi, Karakteristik Marshall

ABSTRACT

Characteristic volcanic ash between with dust dry soil can be meet season. Volcanic ash to the magma eruption to explosive. From volcanic ash to the became filler in ac-wc. To the mention from analysis to effect volcanic ash to the filler to mark marshall ac-wc.

The ac-wc mix which typically use portland cement filler, at this writing portland cement filler will be compared using volcanic ash filler to marshall test equipment in ac-wc mix by using the same specific gravity aggregate.

The experimental method used in this research conducted in the laboratory by varying levels of asphalt plan 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; 7,0%. Samples used were each 3 pieces on each variation of asphalt content plan. Before the making of the specimen material aggregate and asphalt material should be tested and the test specimen using test equipment marshall test.

For the manufacture of test specimens can be seen from the table the results of the combined aggregate gradation. The purpose of the test using test equipment marshall test is to find the value of stability, bulk density, and the optimum bitumen content. The results of comparative studies marshall the rest of the optimum bitumen content that is different can be concluded for the use of portland cement as filler in a mixture of ac-wc better value stability compared with volcanic ash as filler in a mixture of ac-wc 1105 kg compared to 1095 kg.

Keywords : filler, asphalt concrete – wearing course, portland cement, volcanic ash, Marshall characteristic.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh. Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini hingga selesai.

Penyusunan Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Skripsi ini berjudul “ Pengaruh Penggunaan serbuk besi Sebagai Bahan Tambah Agregat Halus (Filler) Terhadap Nilai Stabilitas Uji Marshall dalam Campuran Ac- Wc”, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan membandingkan karakteristik serbuk besi dengan semen Portland sebagai *filler*. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak penulis sulit menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ucapan terima kasih penulis yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua; Alm.Jamin dan Sutarmi yang telah banyak memberikan kasih sayang dan dukungan moril maupun materi serta Do'a yang tiada henti untuk penulis
2. Bapak Prof. Dr. H.A.Ya'kub Matondang MA, selaku Rektor Universitas Medan Area.
3. Bapak Prof. Dr, Dadan Ramdan, M.Eng. M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area
4. Bapak Ir. Kamaluddin Lubis, MT, selaku ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area, Sekaligus dosen pembimbing I.
5. Ibu Nurmaidah, MT, selaku Dosen fakultas teknik Universtas Medan Area sekaligus dosen Pembimbing II.

6. Bapak Indisianto Purba, ST, Selaku Kepala Laboratorium dan seluruh anggota PSP3 Balai Besar Medan, Sumatera Utara.
7. Teman-teman seperjuangan stambuk 2011 Fakultas Teknik Jurusan teknik Sipil Universitas Medan Area, khususnya M.Imam Fadholi Siregar, Febri Irvansyah, ST, Teman-teman stambuk 2011 Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhamadiyah Sumatera Utara. serta semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Seluruh Staff Pengurus Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan dalam penelitian selanjutnya. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan dan penulis pada khususnya. Saya akhiri dengan wabillahi taufiq walhidayah wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Medan, Februari 2017

M.YUSUF ARIF RAHMAN

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Maksud dan Tujuan.....	1
1.3. Rumusan Masalah.....	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah	2
1.6. Bagan Alir Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Struktur Perkerasan Jalan.....	4
2.2. Konstruksi Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>)	5
2.3. Agregat.....	18
2.3.1. Klasifikasi Agregat.....	19
2.3.2. Sifat Agregat	24
2.3.3. Bentuk dan Tekstur Agregat	24
2.3.4. Gradasi Agregat	26
2.3.5. Daya Lekat Terhadap Aspal.....	26
2.3.6. Porositas Agregat	27
2.3.7. Pengujian Agregat.....	27

2.4. Semen Portland	27
2.5. Aspal	30
2.5.1. Jenis Aspal	30
2.5.2. Sifat Aspal.....	31
2.5.3. Campuran Aspal Panas (<i>Hotmix</i>).....	33
2.6. Karakteristik Aspal Beton.....	34
2.7. Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC)	36
2.8. Perencanaan Gradasi Campuran	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	42
3.1. Bahan Penelitian	42
3.2. Peralatan Penelitian.....	42
3.3. Prosedur Perencanaan Penelitian	44
3.4. Pengujian Marshall	45
3.5. Prosedur Pengujian Material	46
3.5.1. Pengujian Material Agregat	47
3.5.2. Pengujian Material Aspal.....	48
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1. Hasil Perencanaan Gradasi Agregat.....	50
4.2. Hasil Pemeriksaan Filler Serbuk Besi.....	54
4.3. Hasil Pemeriksaan Agregat.....	55
4.4. Hasil Pemeriksaan Aspal	58
4.5. Variasi Kadar Aspal Rencana	58
4.6. Hasil Pemeriksaan dan Pengujian Marshall	59
4.6.1 Hasil Analisa Marshall Pada Kadar Aspal Rencana	59
4.6.2. Hasil Analisa Kepadatan Mutlak (PRD) Dengan 2 x 75 kali Tumbukan	61
4.7. Hasil Pengujian Marshall Pada Kondisi Kadar Aspal Optimum Dengan Lama Perendaman	62
4.7.1. Mencari Nilai Kadar Aspal Optimum	62
4.7.2. Hasil Pengujian Marshall Sisa Dengan Test Marshall	63
4.8. Perbandingan Hasil Rata-rata Pengujian Dengan Menggunakan Filler serbuk besi dan Semen Portland	65

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1. Kesimpulan	67
5.2. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	70



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.Kandungan Oksida Serbuk Besi	22
Tabel 2.2.Komposisi Senyawa Kimia dari semen portland	27
Tabel 2.3.Karakteristik semen Portland	28
Tabel 2.4.Gradasi Agregat Untuk Campuran Lapis Beton	37
Tabel 2.5.Ketentuan Sifat-sifat Campuran.....	38
Tabel 2.6.Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal AC-WC	39
Tabel 3.1.Komposisi Material	41
Tabel 3.2.Ketentuan Agregat Kasar	46
Tabel 3.3.Ketentuan Agregat Halus	47
Tabel 3.4.Ketentuan Aspal.....	48
Tabel 4.1.Gradasi Agregat Batu Pecah (CA) 3/4	51
Tabel 4.2.Gradasi Agregat Batu Pecah (MA) 1/2	51
Tabel 4.3.Gradasi Agregat Abu Batu.....	52
Tabel 4.4.Gradasi Agregat Pasir	52
Tabel 4.5.Hasil Pemeriksaan Filler Serbuk Besi.....	53
Tabel 4.6.Berat Jenis Serbuk Besi.....	53
Tabel 4.7.Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar (CA) 3/4	54
Tabel 4.8.Hasil Pemeriksaan Agregat Medium (MA) 1/2	54
Tabel 4.9.Hasil Pemeriksaan Abu Batu	55
Tabel 4.10.Hasil Pemeriksaan Pasir.....	55
Tabel 4.11.Hasil Gradasi Agregat Gabungan	56
Tabel 4.12.Hasil Pemeriksaan Aspal	57
Tabel 4.13.Komposisi Bahan Variasi Kadar Aspal Rencana.....	58

Tabel 4.14. Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Aspal Rencana dengan 2x75 Tumbukan.....	59
Tabel 4.15. Hasil Pengujian Kepadatan Mutlak dengan 2x75 Tumbukan.....	61
Tabel 4.16. Hasil Pengujian Marshall Sisa	64
Tabel 4.17. Perbandingan Hasil Uji Marshall	67



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.Bagan Alir Penelitian	3
Gambar 2.1 Struktur perkerasan lentur	5
Gambar2.2 Bentuk – bentuk Agregat.....	25
Gambar 3.1.Alat Uji Marshall.....	43
Gambar 4.1.Agregat yang digunakan dalam Penelitian.....	50
Gambar 4.2.Grafik Gradasi Agregat Gabungan.....	56
Gambar 4.3.Grafik Garis Potongan Serbuk Besi	60
Gambar 4.4.Grafik Garis Potongan Semen Portland	60
Gambar 4.5.Grafik Perbandingan Hasil Uji Marshall	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Aspal beton sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Hal ini disebabkan aspal beton mempunyai beberapa kelebihan, kemampuannya dalam mendukung beban berat kendaraan yang tinggi dan dapat dibuat dari bahan-bahan local yang tersedia dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca. Aspal beton atau *asphaltic concrete* adalah campuran dari agregat bergradasi menerus dengan bahan bitumen. Kekuatan utama aspal beton ada pada keadaan butir agregat yang saling mengunci dan sedikit filler sebagai mortar.

Serbuk besi merupakan salah satu bahan yang berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga dari suatu campuran beraspal, disamping itu serbuk besi berfungsi pula sebagai media untuk pelumasan aspal terhadap permukaan agregat. Prosentase yang kecil pada serbuk besi terhadap campuran beraspal, bukan berarti tidak mempunyai efek yang besar pada sifat-sifat Marshall yang juga merupakan kinerja campuran terhadap beban lalulintas.

Karakteristik serbuk besi ini relatif berbeda dengan debu tanah kering yang biasa dijumpai pada musim kemarau. Serbuk besi berbentuk butiran abu ini mempunyai bentuk runcing, dan abu ini mempunyai sifat absorbs yang tinggi.

Serbuk besi ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran aspal. Penelitian tentang pemanfaatan serbuk besi ini belum begitu luas apalagi dalam bidang jalan raya. Maka dari itu saya mencoba untuk melakukan penelitian penggunaan serbuk besi sebagai bahan tambah agregat halus terhadap nilai stabilitas uji marshall dalam campuran aspal ac-wc.

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penerapan pemanfaatan serbuk besi sebagai bahan tambah terhadap nilai uji marshall campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) Sedangkan tujuannya adalah untuk menganalisa pengaruh pemanfaatan serbuk besi sebagai bahan tambah agregat halus terhadap nilai stabilitas uji marshall dalam campuran ac-wc

terutama nilai stabilitasnya. dan membandingkan hasil uji marshall campuran ac-wc dengan menggunakan *filler* semen portland.

1.3. Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh nilai uji marshall campuran aspal beton dengan menggunakan bahan tambah serbuk besi?
2. Apakah campuran perkerasan ac-wc dengan menggunakan serbuk besi memenuhi persyaratan karakteristik marshall?

1.4. Manfaat Penelitian

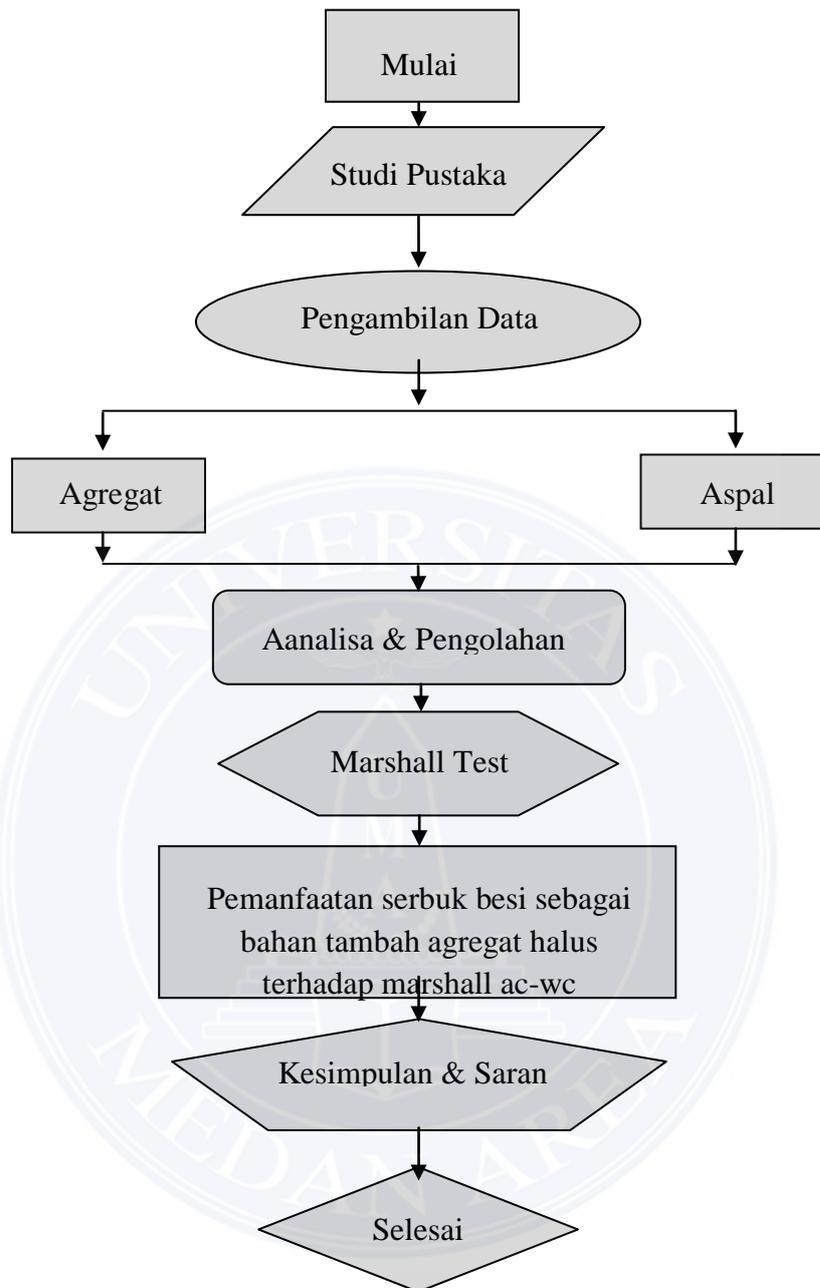
Dengan adanya kajian ini, diharapkan bisa memberikan pemahaman dan menambah wawasan mengenai pengaruh penggunaan serbuk besi sebagai bahan alternatif dalam campuran aspal panas, khususnya AC-WC sebagai lapis aus ke-2 permukaan perkerasan lentur ditinjau terhadap sifat Marshall {*stability, flow, void in mineral agregat (VMA), void in the mix (VIM), void filled with asphalt (VFA)* dan *Marshall Quotient*} dan sifat durabilitas campuran.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini mempunyai ruang lingkup dan batasan masalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini masalah yang ditinjau dibatasi hanya pada penggunaan serbuk besi terhadap campuran aspal ac-wc.
2. Gradasi agregat yang digunakan untuk perencanaan campuran adalah gradasi dari Laston Lapis Aus (AC-WC).
3. Metode kombinasi agregat menggunakan pendekatan kurva *fuller* dan
4. Hanya meneliti berdasarkan sifat-sifat fisiknya saja

1.6 Bagan Alir Penelitian



Gambar 1.1. Bagan Alir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Struktur Perkerasan jalan

Perkerasan jalan adalah campuran agregat dan bahan ikat (binder) yang diletakkan diatas tanah dasar dengan pemadatan untuk melayani beban lalu lintas. Tujuan utama pembuatan struktur perkerasan jalan adalah untuk mengurangi tegangan atau tekanan akibat beban roda sehingga mencapai tingkat nilai yang dapat diterima oleh tanah yang menyokong beban tersebut.

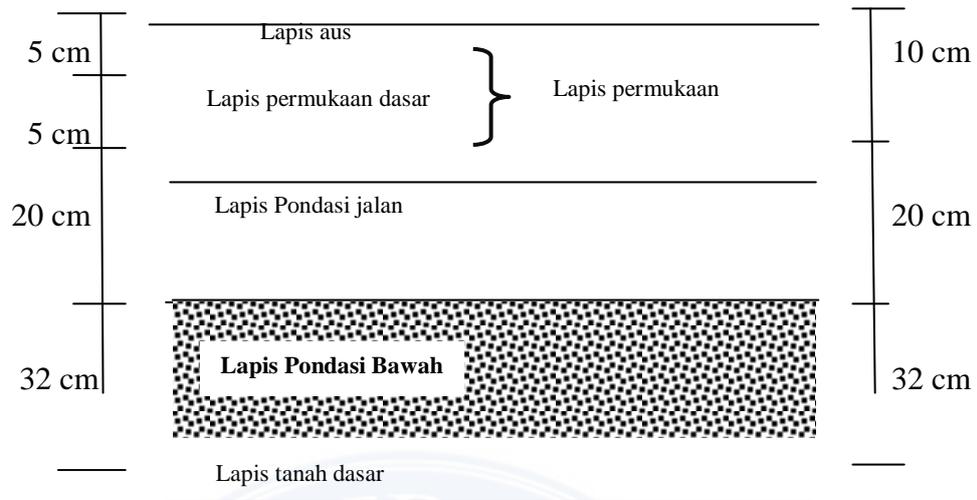
Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dibedakan menjadi tiga jenis konstruksi perkerasan, yaitu :

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Disebut “lentur” karena konstruksi ini mengijinkan terjadinya deformasi vertikal akibat beban lalu lintas dari permukaan sampai ke tanah dasar. Salah satu jenis perkerasan lentur adalah *Asphalt Concrete* (AC).

Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Disebut “kaku” karena pelat beton tidak terdefleksi akibat beban lalu lintas dan didesain untuk umur 40 tahun sebelum dilaksanakan rekonstruksi besar-besaran. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton dengan atau tanpa tulangan yang diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah.

Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan yang mengkombinasikan antara aspal dan semen (PC) sebagai bahan pengikatnya. Penyusunan lapisan komposit terdiri dari dua jenis. Salah satu jenis perkerasan komposit adalah merupakan penggabungan secara berlapis antara perkerasan lentur (menggunakan aspal sebagai bahan pengikat) dan perkerasan kaku (menggunakan semen sebagai bahan pengikat).

Pada umumnya jenis perkerasan yang dipakai di Indonesia adalah perkerasan lentur. Susunan struktur jalan (perkerasan lentur) di Indonesia pada umumnya mengacu kepada standar USA, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur perkerasan lentur

Sumber : *Proyek Jalan Teori & Praktek/ Arthur Wignall
Edisi Keempat, 2003*

2.2. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Yang dimaksud perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya. Sehingga lapisan perkerasan tersebut mempunyai fleksibilitas/kelenturan yang dapat menciptakan kenyamanan kendaraan dalam melintas di atasnya. Perlu dilakukan kajian yang lebih intensif dalam penerapannya dan harus juga memperhitungkan secara ekonomis, sesuai dengan kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga konstruksi jalan yang direncanakan itu adalah yang optimal.

Perkerasan lentur mempunyai beberapa komponen, yaitu :

A. Tanah Dasar (*sub grade*)

Tanah dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan galian atau permukaan tanah timbunan, yang di padatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut :

Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas.

Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.

Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan.

B. Lapis Pondasi Bawah (*sub base course*)

Lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar.

Fungsi lapis pondasi bawah antara lain :

Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.

Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan – lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).

Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.

Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.

Hal ini sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda – roda alat – alat besar atau karena kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca. Berbagai – macam tipe tanah setempat ($CBR > 20\%$, $PI < 10\%$) yang relatif lebih baik dari tanah dasar dapat digunakan sebagai bahan pondasi bawah. Campuran – campuran tanah setempat dengan kapur atau semen Portland dalam beberapa hal sangat dianjurkan, agar dapat bantuan yang efektif terhadap kestabilan konstruksi perkerasan.

C. Lapis Pondasi (*base course*)

Lapis pondasi adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah).

Fungsi lapis pondasi antara lain :

Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda,

Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan – bahan untuk lapis pondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban – beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik – baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik.

Ber macam – macam bahan alam / bahan setempat ($CBR > 50\%$, $PI < 4\%$) dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi, antara lain : batu pecah, kerikil pecah dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

D. Lapis Permukaan (*surface course*)

Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan antara lain :

Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda

Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan kerusakan akibat cuaca

Sebagai lapisan aus (*wearing course*).

Bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan untuk lapis pondasi, dengan persyaratan yang lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas.

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

E. Metalurgi serbuk

Metalurgi serbuk adalah suatu kegiatan yang mencakup pembuatan benda komersial dari serbuk besi melalui penekanan. Proses ini dapat disertai pemanasan akan tetapi suhu harus berada dibawah titik cair serbuk. Pemanasan selama proses penekanan atau sesudah penekanan yang dikenal dengan istilah sinter menghasilkan pengikatan partikel halus. dengan demikian kekuatan dan sifat-sifat lainnya meningkat. Kobal atau jenis besi lainnya diperlukan untuk mengikat partikel tungsten, sedangkan grafit ditambahkan pada serbuk besi bantalan untuk meningkatkan kualitas bantalan.

sifat-sifat khusus serbuk besi

Ukuran Partikel ,bentuk dan distribusi ukuran serbuk logam mempengaruhi karakteristik dan sifat fisis dari benda yang dimampatkan. Serbuk dibuat menurut spesifikasi a.l bentuk, kehalusan, distribusi ukuran partikel, mampu alir(flowability), sifat kimia, mampu tekan(compressibility), berat jenis semu dan sifat sinter.

Bentuk

Bentuk partikel serbuk tergantung pada cara pembuatannya, dapat bulat, tak teratur, dendritik, pipih atau bersudut tajam

Kehalusan

Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir dan ditentukan dengan mengayak serbuk dengan ayakan standar atau dengan pengukuran mikroskop. Ayakan standar berukuran mesh 36 sampai 850um digunakan untuk mengecek ukuran dan menentukan distribusi ukuran partikel dalam daerah tertentu.

Distribusi Ukuran Partikel

Dengan distribusi ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari setiap ukuran standar dalam serbuk tersenut. Pengaruh distribusi terhadap mampu alir, berat jenis semu dan porositas produk cukup besar. Distribusi tidak dapat diubah tanpa mempengaruhi ukuran benda tekan.

Mampu Alir

Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan sifat alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak. Dapat digambarkan sebagai laju alir melalui suatu celah tertentu.

Sifat Kimia

Terutama menyangkut kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya.

Kompresibilitas

Kompresibilitas adalah perbandingan volum serbuk semula dengan volum benda yang ditekan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir. Kekuatan tekan mentah tergantung pada kompresibilitas.

Berat Jenis Curah

Berat jenis curah atau benda jenis serbuk dinyatakan dalam kilogram per meter kubik. Harga ini harus tetap, agar jumlah serbuk yang mengisi cetakan setiap waktunya tetap sama.

Kemampuan Sinter

Sinter adalah Proses pengikatan partikel melalui proses pemanasan.

F. Cara Pembuatan Serbuk

Berbagai jenis serbuk logam, karena memiliki ciri-ciri fisis dan kimia tertentu memerlukan cara pembuatan yang berbeda. Pemesinan akan menghasilkan partikel yang kasar dan digunakan untuk membuat serbuk magnesium. Proses Penggilingan dengan memanfaatkan berbagai macam jenis mesin penghancur, mesin giling dan mesin tumbuk dapat menghancurkan berbagai jenis logam. Proses ini juga dimanfaatkan pada pembuatan zat pigmen dari bahan yang duktil, dan diperoleh partikel berbentuk serpih. Biasanya ditambahkan minyak untuk memecah penggumpalan. Shotting adalah operasi dimana logam cair dituangkan melalui suatu saringan atau lubang disusul dengan pendinginan dalam air. Proses ini menghasilkan partikel yang bulat atau lonjong. Logam pada umumnya dapat di "shot" namun kerap kali ukuran partikel yang dihasilkan terlalu besar. Atomisasi, atau penyemprotan logam, merupakan cara yang baik untuk membuat serbuk dari logam suhu rendah seperti timah hitam, aluminium, seng dan timah putih. Bentuk partikel tidak teratur dan ukurannya pun berbeda-beda. Proses ini disebut granulasi tergantung pada pembentukan oksida pada permukaan partikel selama proses pengadukan. Pengendapan elektrolitik (Electrolytic deposition) adalah cara yang umum diterapkan untuk mengolah besi, perak, tantalum dan beberapa jenis logam lainnya. Untuk membuat serbuk besi digunakan elektroda pelat baja yang dipasang sebagai anoda dalam tangki yang mengandung elektrolit. Pelat baja tahan karat ditempatkan dalam tangki sebagai katoda dan besi mengendap pada elektroda tersebut. Digunakan arus searah dan setelah + 48 jam, diperoleh endapan setebal 2 mm. Pelat katoda kemudian dikeluarkan dan besi elektrolitik dikeruk. Besi yang sangat rapuh ini dicuci lalu disaring, Serbuk lalu dianil untuk pelunakan. Pada proses reduksi, oksida logam direduksi menjadi serbuk dengan mengalirkan gas pada suhu dibawah titik cair. Untuk serbuk besi,

biasanya digunakan kerak, suatu oksida besi. Oksida ini dicampur dengan serbuk kokas dan dimasukkan kedalam tanur putar. Pada ujung pelepasan, campuran ini dipanaskan sampai 1050 C, hal ini menyebabkan karbon bereaksi dengan oksigen yang terdapat dalam oksida besi. Terbentuklah gas yang dialirkan keluar. Besi yang tertinggal cukup murni dan berbentuk spons. Serbuk logam lainnya seperti; wolfram, molibden, nikel dan kobal dibuat dengan proses yang sama. Cara produksi yang lain meliputi presipitasi, kondensasi dan proses kimia telah dikembangkan untuk menghasilkan serbuk logam.

G. Pembentukan

Serbuk untuk produk tertentu harus dipilih dengan teliti agar terjamin proses pembentukannya yang ekonomis dan diperoleh sifat-sifat yang diinginkan dalam produk akhir.

Penekanan (pressing)

Serbuk ditekan dalam die baja dengan tekanan sebesar 20 sampai 1400 MPa. Karena partikel yang lunak ditekan dengan mudah, serbuk yang bersifat plastis tidak memerlukan tekanan yang tinggi. Sedang untuk yang serbuk lebih keras untuk mencapai berat jenis yang memadai diperlukan tekanan yang lebih besar. Berat Jenis dan kekerasan meningkat dengan meningkatnya tekanan, akan tetapi selalu ada tekanan optimum. Diatas tekanan ini peningkatan sifat-sifat tidak berarti lagi. Untuk tekanan yang lebih tinggi, diperlukan die yang kuat dan mesin pres berkapasitas tinggi., oleh karena itu dengan sendirinya ongkos produksi naik dengan meningkatnya tekanan. Umumnya mesin pres yang dikembangkan untuk proses lain dapat dimanfaatkan pula untuk metallurgi serbuk. Meskipun pres mekanik banyak digunakan karena laju produksinya yang tinggi, pres hidrolik digunakan bila benda besar dan bila diperlukan tekanan yang tinggi. Pres “punch” tunggal dan pres “multi punch rotary” berkecepatan tinggi didisain sedemikian rupa sehingga operasinya, mulai pengisian cetakan dengan serbuk, pengeluaran benda cetak jadi, berlangsung secara kontinu atau bertahap. Pres meja putar mempunyai laju produksi yang tinggi, karena dilengkapi dengan serangkaian lubang die, yang dilengkapi dengan pons atas dan bawah selama produksi meja berputar, operasi pengisian, penekanan dan pengeluaran produk secara bertahap. Pada gambar dibawah tampak susunan pons dan die yang sederhana untuk

memadatkan serbuk logam. Ada dua penekanan, penekanan atas yang sesuai dengan bentuk bagian atas dari benda dan penekanan bawah yang sesuai dengan die bagian bawah. Penekanan bawah sekaligus berfungsi sebagai ejektor untuk mengeluarkan benda yang telah dicetak. Ruang die harus halus untuk mengurangi gesekan dan harus tirus sedikit untuk memudahkan pengeluaran benda. Gesekan dinding akan mengurangi tekanan keserbuk dan bila tekanan bekerja pada satu sisi saja, dalam benda itu sendiri akan timbul perbedaan berat jenis (dari atas ke bawah). Oleh karena itu digunakan penekanan baik dari atas maupun dari bawah. Jarak penekanan tergantung pada rasio kompresi serbuk. Untuk besi dan tembaga, harga berkisar antara $2\frac{1}{2}$ sampai 1. Ruang die diisi sampai ketinggian tiga kali tinggi benda jadi. Bentuk benda yang dikeluarkan, yang disebut kompak mentah, telah menyerupai produk akhir akan tetapi kekuatannya masih rendah, kekuatan akhir diperoleh setelah proses sinter.

Peningkatan Kepadatan Secara Sentrifugal

Pemadatan sentrifugal merupakan suatu cara untuk menghasilkan benda dengan berat jenis yang merata khususnya untuk serbuk logam berat. Cetakan diisi dengan serbuk kemudian diputar hingga mencapai tekanan sekitar 3 MPa. Akan tetapi diperoleh berat jenis yang merata, karena gaya sentrifugal bekerja pada masing-masing partikel serbuk. Setelah dikeluarkan dari cetakan, kompak diolah seperti lazimnya. Teknik ini hanya diterapkan pada benda yang dibuat dari serbuk logam berat seperti karbida wolfram. Bentuk benda sedapat mungkin uniform, oleh karena ketebalan yang berbeda-beda menghasilkan benda yang kurang merata padatnya.

Cetakan Slip

Kompak mentah serbuk wolfram, molibden dan serbuk lainnya kadang-kadang dibuat dengan metode slip. Serbuk yang diubah menjadi campuran kental, mula-mula dituangkan dalam cetakan yang dibuat dari gips. Karena cetakan ini poreus, cairan terserap dan terbentuklah lapisan bahan yang padat pada permukaan cetakan. Setelah terbentuk lapisan dengan ketebalan tertentu, cairan kental yang berlebihan dituangkan keluar menghasilkan benda yang berongga. Prosedur ini sangat sederhana dan memungkinkan dibentuknya benda dengan berbagai bentuk dan ukuran. Proses ini banyak digunakan untuk membuat benda-benda keramik.

Ekstruksi

Benda berbentuk panjang dibuat dengan proses ekstrusi. Perkembangan dibidang ini memungkinkan dibentuknya benda dari serbuk dengan berat jenis yang tinggi dan sifat mekanik yang baik. Cara ekstrusi bergantung pada karakter serbuk, beberapa jenis serbuk memerlukan ekstrusi dingin dengan bahan pengikat sedang lainnya dapat dipanaskan sampai suhu ekstrusi tertentu. Umumnya serbuk ditekan, membentuk billet, disusul dengan pemanasan atau sinter dalam lingkungan tanpa oksidasi sebelum dimasukkan dalam pres. Ada kalanya untuk menghindarkan terjadinya oksidasi, billet tadi dimasukkan dalam wadah logam yang ditutup rapat sebelum dimasukkan kedalam pres. Proses ini banyak diterapkan pada pembuatan elemen bahan bakar padat nuklir dan bahan lainnya seperti untuk penggunaan pada suhu tinggi. Logam-logam lainnya seperti aluminium, tembaga, nikel dapat diekstrusi juga.

Sinter Gravitasi

Lembaran logam dengan porositas terkendali dapat dibuat dengan proses sinter gravitasi. Proses ini banyak diterapkan untuk pembuatan lembaran baja tahan karat. Serbuk dengan ketebalan merata diletakkan diatas tatakan keramik dan disinter lagi selama 48 jam dalam lingkungan gas ammonia pada suhu tinggi. Lembaran tersebut kemudian digiling agar ketebalan merata dan agar memiliki penyelesaian permukaan yang lebih baik. Lembaran tadi kemudian dapat dibentuk lebih lanjut. Lembaran baja porous tahan karat digunakan sebagai filter diindustri minyak bumi dan kimia.

Mengerol

Dari tempat pengumpan, serbuk dimasukkan diantara dua rol yang menekan dan membentuknya menjadi lembaran dengan kekuatan yang memadai sehingga dapat dimasukkan dalam dapur sinter. Lembaran tersebut kemudian dirol melalui beberapa pasangan rol lainnya dan mengalami perlakuan panas selanjutnya bila diperlukan. Dengan mencampurkan serbuk sebelum memasuki rol, dapat dibuat lembaran paduan. Serbuk logam yang dapat dirol menjadi lembaran adalah tembaga, kuningan, perunggu, monel, dan baja tahan karat. Sifat mekanik yang merata dan porositas yang terkendali dapat dihasilkan proses rol ini.

Pencetakan Isostatik

Merupakan suatu cara untuk mendapatkan serbuk logam dengan berat jenis merata pada operasi pemampatan. Metode ini penting karena disini digunakan tekanan yang tinggi yang menghasilkan produk yang padat; media penekanan adalah gas disebut penekanan hidrostatik jika digunakan media zat cair. Proses ini menghasilkan produk yang padat yang mempunyai kekuatan merata dalam segala arah, selain itu harga peralatan relative murah dan kekuatan kompak mentah jauh lebih baik dibandingkan dengan cara lain. Serbuk logam yang dapat dibentuk dengan penekanan isotatik ialah aluminium, magnesium, beryllium, besi, wolfram dan baja tahan karat.

Pemampatan Eksplosif

Umumnya diterapkan pada logam yang sulit dipadatkan. Cara ini dapat menghasilkan tekanan yang tinggi sehingga diperoleh produk yang padat . Dengan demikian waktu sinter dikurangi, dan penciutan kompak juga berkurang. Desain die sederhana sehingga didapatkan penghematan yang berarti. Desain yang digunakan umumnya mempunyai sistem tertutup. Sebuah atau beberapa buah penekan ditempatkan disekitar serbuk logam dan dikendalikan oleh pelat yang berhubungan dengan ruang ledakan. Desain lainnya menggunakan air yang dimasukkan dalam silinder. Pada serbuk bekerja tekanan hidrostatik yang berasal dari ledakan ujung silinder.

Proses Serat Logam

Produk yang dibuat dari serbuk banyak digunakan untuk filter, peredam getaran, pelat getaran, pelat baterai, dan penahan nyala api. Berbagai logam dan paduannya dapat dibentuk dengan cara ini. Serat dibuat dengan dari kawat halus atau serabut logam yang kemudian dipotong dengan panjang tertentu. Karena penggunaan serat yang lurus kurang menguntungkan, serat biasanya ditekuk atau dibuat berikal. Kemudian serabut logam dicampur dengan Lumpur cair dan dituangkan pada landasan yang berpori. Setelah cairan keluar, diperoleh lempengan serabut dengan arah acak yang kemudian ditekan dan disinter. Berat jenis kemudian ditingkatkan melalui penggilingan atau penekanan. Logam dan paduan umumnya dapat dibuat dengan teknik ini. Sifat menakik nya tunduk pada hukum Hooke.

G. Sinter

Sinter adalah Pemanasan kompak mentah sampai suhu tinggi. Pada proses sinter, benda padat terjadi karena membentuk ikatan-ikatan. Panas menyebabkan bersatunya partikel dan efektifitas reaksi tegangan permukaan meningkat. Selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap permulaan rekristalisasi. Disamping itu, gas yang menguap. Suhu sinter umumnya berada dibawah titik cair unsur serbuk utama. Hasil percobaan menunjukkan bahwa ada suhu sinter optimal. Untuk proses sinter serbuk logam umumnya dapat digunakan dapur komersil yang ada, namun beberapa jenis logam tertentu memerlukan dapur-dapur khusus. Suhu sinter untuk besi adalah 1095°C , baja tahan karat 1180°C , tembaga 870°C dan karbida tungsten 1480°C . Waktu sinter berkisar antara 20 samapai 40 menit. Waktu pemanasan berbeda untuk jenis logam yang berlainan dan tidak diperoleh manfaat tambahan dengan perpanjangan waktu pemanasan. Lingkungan sangat berpengaruh karena benda mentah terdiri dari partikel yang kecil yang mempunyai daerah permukaan yang luas. Oleh karena itu lingkungan harus terdiri dari gas reduksi atau nitrogen untuk mencegah terbentuknya lapisan oksida pada permukaan selama proses sinter. Ada terdapat dua dapur yaitu , dapur satuan (batch type furnace) dan dapur kontinu. Pada dapur kontinu terdapat sabuk yang terdiri dari jalinan kawat dimana diletakkan kompak mentah, yang bergerak.

H. Penekan Panas

Penekanan panas dapat menghasilkan benda mentah yang lebih kuat dan keras, dimensi yang lebih tepat dan berat jenis yan lebih tinggi. Faktor yang merupakan hambatan ialah mahalnya cetakkan (die) kesulitan pemanasan dan kesulitan dalam mengendalikan lingkungan dan waktu yangdiperlukan untuk menyelesaikan satu siklus.

I. Sinter Latu (Spark Sintering)

Sinter latu merupakan Suatu proses dimana serbuk ditekan dan disinter sekaligus dalam waktu yang sangat singkat yaitu 12 sampai 15 detik. Suatu latu listrik berenergi tinggi yang berasal dari rangkaian Kondensator dalam satu atau dua detik dapat menghilangkan kotoran permukaan partikel serbuk. Hal ini menyebabkan partikel menjadi satu, seperti terjadi pada proses sinter bias, dan

terbentuklah suatu satuan massa yang padat. Segera setelah itu terbentuk, arus akan mengalir selama 10 detik, suhu berada dibawah titik cair serbuk dan terjadi ikatan kristal antar partikel. Pada tahap akhir, benda yang terletak di antara elektroda ditekan secara hidrolis untuk meningkatkan kepadatannya.

J. Penyelesaian

Peresapan Minyak

Bantalan yang dibuat dari benda berpori merupakan salah satu produk penting. Porositas berkisar antara 25 sampai 35 % karena porositas yang lebih tinggi akan mengurangi kekuatan bantalan. Peresapan minyak dilakukan dengan mencelupkan bantalan sinter dalam minyak yang dipanaskan untuk waktu tertentu atau melalui perlakuan vakum yang jauh lebih cepat. Akibatnya gaya kapiler bantalan akan “menekan” minyak. Minyak tersebut akan dilepaskan selama pemakaian bantalan. Bantalan umumnya dibuat dari brons atau campuran besi yang berpori.

Infiltrasi

Adalah proses pengisian pori produk sinter dengan logam cair untuk mengurangi porositas atau untuk meningkatkan sifat fisik. Pada proses ini, titik cair logam pengisi harus jauh lebih rendah dari titik cair logam padat. Sebelumnya perlu ada perlakuan kimia agar kemampuan infiltrasi meningkat

Penempatan Ukuran (sizing atau coining)

Pengerjaan dingin ini akan meningkatkan kekerasan dan kehalusan permukaan dan ketepatan ukuran. Berat jenis benda juga meningkat.

Perlakuan Panas

Porositas sangat mempengaruhi laju aliran panas melalui benda dan dapat menyebabkan timbulnya pengotoran dibagian dalam bila digunakan perlakuan panas dengan dapur garam. Karburisasi cair tidak dianjurkan untuk perlakuan permukaan benda serbuk.

Pelapisan

Benda dengan berat jenis yang lebih tinggi dapat dilapis seperti biasa. Benda jadi dengan berat jenis rendah atau sedang harus mengalami perlakuan pendahuluan untuk menutup pori (remik). Antara lain “peening”, penyikatan atau peresapan resin plastic akan menutup permukaan pori dan mencegah

terperangkapnya garam yang dapat menimbulkan terjadinya bisul. Setelah persiapan barulah dapat dilakukan proses pelapisan.

Pemesinan

Produk serbuk logam dapat ditekan dalam cetaka untuk memperoleh bentuk akhir dengan dimensi yang tepat. Akan tetapi produk yang berulir, bertakik, beralur dalam atau berlubang tidak dapat dibuat secara metallurgi serbuk dan harus diselesaikan dengan pemesinan. Pisau potong karbida tungsten biasas digunakan untuk ini meskipun pisau potong baja kecepatan tinggi dapat digunakan pula. Sewaktu pemotongan jangan menggunakan cairan pendingin oleh karena hal itu dapat menyebabkan terjadinya korosi.

K. Keuntungan dan Keterbatasan Metallurgi Serbuk

Keuntungan

Proses ini dapat menghasilkan karbida sinter, bantalan porous dan produk bimetal yang terdiri dari lapisan serbuk logam yang berbeda. Proses ini dapat menghasilkan produk dengan porositas yang terkendali. Proses dapat menghasilkan bagian yang kecil dengan bertoleransi yang ketat dan permukaanyang halus dalam jumlah banyak dan mampu bersaing dengan cara pemesinan. Serbuk yang murni menghasilkan produk yang murni pula. Proses ini sangat ekonomis karena tidak ada bahan yang terbuang selama proses produksi.

Upah buruh rendah karena tidak diperlukan tenaga dengan keahlian khusus untuk menjalankan mesin pres dan mesin-mesin lainnya.

Keterbatasan

1. Serbuk logam mahal dan terkadang sulit penyimpanannya karena mudah terkontaminasi
2. Alat peralatan mahal.
3. Beberapa jenis produk tidak dapat dibuat secara ekonomis karena keterbatasan kapasitas mesin pres dan rasio kompresi berbagai jenis serbuk.
4. Bentuk yang sulit atau rumit tidak dapat dibuat karena selama penekanan (pemampatan) serbuk logam tidak mampu mengalir mengisi ruangan cetakan.
5. Pada serbuk logam yang mempunyai titik cair yang rendah seperti tin, timah hitam, seng, dan cadmium mungkin timbul kesulitan dalam sinter. Oksida-oksida logam tersebut tidak dapat direduksi pada suhu di bawah titik cair logam tersebut; oleh karena itu oksida tetap ada, dan akan menimbulkan kesulitan pada waktu sinter dan menghasilkan produk yang tidak bermutu.
6. Beberapa jenis serbuk logam yang halus merupakan sumber bahaya ledakan dan kebakaran
7. Dengan proses ini sulit mendapatkan kepadatan yang merata.

L. Produk Serbuk Logam

Saringan Logam

Saringan logam serbuk yang permanen mempunyai kekuatan dan ketahanan terhadap kejutan yang lebih baik dibandingkan dengan filter keramik dan mempunyai porositas sampai 80%. Dapat dibuat filter serbuk logam dengan porositas 97%. Filter jenis ini digunakan untuk menyaring cairan dingin atau panas dan udara.

Karbida Semented

Partikel karbida tungsten dicampur dengan pengikat kobalt, kemudian ditekan dan dibentuk lalu disinter pada suhu tertentu di atas titik cair logam matriks, sehingga menghasilkan karbida semented yang banyak digunakan sebagai alat potong dan cetaka (die).

Roda Gigi dan Rotor Pompa

Roda Gigi dan Rotor Pompa dibuat dari serbuk besi yang dicampur dengan grafit secukupnya agar mempunyai kandungan karbon sesuai dengan yang diinginkan. Dengan proses ini akan diperoleh porositas sekitar 20% dan setelah

disinter, pori-pori diresapi dengan minyak sehingga kebisingan penggunaannya dapat dibatasi.

Sikat Motor

Sikat untuk motor dibuat dengan mencampurkan tembaga dengan grafit perbandingan tertentu sehingga bendamentah mempunyai kekuatan mekanik yang memadai. Untuk meningkatkan daya tahan aus, dapat ditambahkan timah putih atau timah hitam secukupnya.

Bantalan Berpori

Umumnya bantalan berpori dibuat dari serbuk tembaga. Timah putih dan grafit atau campuran serbuk logam lainnya. Setelah disinter, bantalan diselesaikan sehingga mempunyai ukuran yang tepat kemudian diresapi dengan minyak melalui perlakuan vakum. Porositas dalam bantalan dapat diatur dengan cermat dan berkisar sampai 40% (volum).

Magnet

Magnet kecil yang bermutu tinggi dapat dibuat dari campuran serbuk besi, aluminium, nikel, dan kobalt. Magnet alnico yang terdiri dari serbuk besi dan aluminium jauh lebih baik daripada magnet cor.

Kontak Listrik

Kontak listrik banyak dibuat secara metaurgi serbuk, karena beberapa jenis serbuk logam dapat dicampurkan dan sekaligus tetap memiliki karakteristik khusus masing-masing. Kontak listrik harus tahan aus dan suhu tinggi dan disamping itu tetap memiliki daya hantar listrik yang baik. Telah dikembangkan campuran logam seperti: tungsten-tembaga, tungsten-kobalt, tungsten-perak, perak-molibden dan tembaga-nikel-tungsten untuk peralatan/perengkapan listrik.

2.3. Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir – butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan (*Departemen PU –1998*). Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran – butiran yang merupakan salah satu penggunaan dalam kombinasi dengan berbagai macam tipe mulai dari sebagai bahan material di semen untuk membentuk beton, lapis pondasi jalan, material pengisi, dan lain – lain.

Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa factor yaitu gradasi, kekuatan, bentuk butir, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dan sifat kimia. Jenis dan campuran agregat sangat mempengaruhi daya tahan atau stabilitas suatu perkerasan jalan.

2.3.1. Klasifikasi Agregat

Agregat dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Berdasarkan proses pengolahannya agregat yang di pergunakan dalam perkerasan lentur dapat di bedakan :

Agregat alam, agregat yang dapat dipergunakan sebagai mana bentuknya di alam dengan cara sedikit proses pengolahan, yaitu pasir dengan ukuran partikel $<1/4$ inch tetapi lebih besar dari 0.075 mm (saringan no.200), kerikil dengan ukuran partikel $>1/4$ inch.

Agregat yang mulai proses pengolahan atau agregat yang melalui proses pemecahan terlebih dahulu supaya diperoleh bentuk partikel bersudut, diusahakan berbentuk kubus, permukaan partikel kasar sehingga mempunyai gesekan yang baik dan gradasi sesuai yang diinginkan. Proses pemecahan agregat sebaiknya menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*) sehingga ukuran partikel – partikel yang dihasilkan dapat terkontrol, berarti gradasi yang diinginkan dapat dicapai sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

Agregat buatan, agregat yang merupakan mineral *filler* / pengisi (partikel dengan ukuran <0.075 mm), diperoleh dari terak hasil pencairan pabrik besi dan baja, pabrik semen dan pemecah batu.

2. Berdasarkan ukuran butiran agregat dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu :

- a. Agregat kasar

Agregat kasar adalah butiran yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm).

Fungsi agregat kasar dalam campuran aspal beton adalah :

Memberikan stabilitas campuran dari kondisi saling mengunci dari masing – masing agregat kasar dan tertahan suatu aksi perpindahan

Stabilitas ditentukan oleh bentuk dan tekstur permukaan agregat kasar (kubus dan kasar)

Agregat yang digunakan dalam pembuatan aspal beton adalah batu pecah atau kerikil dalam keadaan kering dengan persyaratan sebagai berikut :

Keausan agregat yang diperiksa dengan mesin los angeles pada 500 putaran harus mempunyai nilai maksimum 40%

Kelekatan terhadap aspal harus lebih besar dari 95%

Indeks kepipihan agregat maksimum 25%

Peresapan agregat terhadap air maksimum 3%

Berat jenis semu agregat minimum 2,50

Gumpalan lempung agregat maksimum 0,25%

Bagian – bagian batu yang lunak dari agregat maksimum 5%

b. Agregat halus

Agregat halus adalah butiran yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) dan tertahan No.200 (0,075 mm). Fungsi agregat halus dalam campuran aspal beton adalah :

1. Menambah stabilitas dari campuran dengan memperkokoh sifat saling mengunci dari agregat kasar dan untuk mengurangi rongga udara agregat kasar.
2. Semakin besar tekstur permukaan agregat halus akan menambah stabilitas campuran dan menambah kekasaran permukaan perkerasan jalan.
3. Agregat halus pada saringan No.8 sampai dengan saringan No.30 penting dalam memberikan kekasaran yang baik untuk kendaraan.
4. Pada *gap graded*, agregat halus saringan No.8 sampai dengan saringan No.30 dikurangi agar diperoleh rongga udara yang memadai untuk jumlah aspal tertentu sehingga permukaan *gap graded* cenderung halus.
5. Agregat halus pada saringan No.30 sampai dengan No.200 penting untuk menaikkan kadar aspal, sehingga akan bertambah awet.
6. Keseimbangan proporsi penggunaan agregat kasar dan halus penting agar diperoleh permukaan yang tidak licin dengan jumlah kadar aspal yang diinginkan.

Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan berbidang kasar, bersudut tajam, dan bersih dari kotoran-kotoran. Agregat halus terdiri dari pasir, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi bahan-bahan tersebut dalam keadaan kering.

Agregat halus harus memenuhi syarat-syarat :

1. Nilai *sand equivalent* dari agregat maksimal 40%
2. Berat jenis semu minimum 2,50
3. Dari pemeriksaan *Atterberg*, agregat harus non plastis
4. Peresapan agregat terhadap air maksimum 3%

c. *Filler*

Filler adalah bahan berbutir halus yang mempunyai fungsi sebagai pengisi pada pembuatan campuran aspal. *Filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan no. 200 (0,074 mm) bisa berupa semen atau abu, dan harus dalam keadaan kering (kadar air maksimal 1%).

A. Efek Penggunaan filler terhadap Karakteristik Campuran

1. *Filler* terhadap *viscositas* campuran:

Efek penggunaan berbagai jenis *filler* terhadap *viscositas* campuran tidak sama.

Luas permukaan *filler* yang semakin besar akan menaikkan *viscositas* campuran dibandingkan dengan yang berluas permukaan kecil.

2. *Filler* terhadap daktilitas dan penetrasi campuran:

Kadar *filler* yang semakin tinggi akan menurunkan daktilitas, hal ini juga terjadi pada berbagai suhu.

Jenis *filler* yang akan menaikkan *viscositas* aspal, akan menaikkan penetrasi aspal

3. Efek suhu dan pemanasan

Jenis dan kadar *filler* memberikan pengaruh yang berbedapada berbagai temperatur.

B. Efek penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran aspal beton

Kadar *filler* dalam campuran akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penghamparan, dan pemadatan. Selain itu, kadar dan jenis *filler* akan berpengaruh terhadap sifat elastik campurandan sensitifitas terhadap air.

Pemberian *filler* pada campuran lapis perkerasan sebagai agregat mengakibatkan lapis perkerasan mengalami berkurangnya kadar pori. Partikel *filler* menempati rongga diantara partikel – partikel besar menjadi berkurang. Secara umum penambahan *filler* ini bertujuan untuk menambah stabilitas serta kerapatan dari campuran. Bila dicampur dalam aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama – sama.

Kelompok mineral *filler* dalam campuran beton aspal yang mempunyai partikel dengan diameter yang lebih besar dari ketebalan selaput bitumen pada permukaan batuan akan memberikan pengaruh saling mengunci antar agregat. Sedangkan kelompok yang lain, yaitu partikel yang mempunyai diameter lebih kecil dari selaput bitumen akan tersuspensi dalam selaput bitumen tersebut. Bagian mineral *filler* yang tersuspensi ini akan mempengaruhi perilaku system bitumen.

C. Filler Serbuk Besi

Siswosoebrotho (1996) menyatakan bahwa mineral filler adalah suatu mineral agregat dari fraksi halus yang sebagian besar (+ 85 %) lolos saringan nomor 200 (0,075 mm).

Pada prakteknya filler berfungsi untuk meningkatkan viskositas dari aspal dan mengurangi kepekaan terhadap temperature. Dengan meningkatkan komposisi filler dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas campuran tetapi menurunkan kadar air void (rongga udara) dalam campuran. Meskipun demikian komposisi filler dalam campuran tetap dibatasi. Terlalu tinggi kadar filler dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi getas (brittle), dan retak (crack) ketika menerima beban lalu lintas. Akan tetapi terlalu rendah kadar filler akan menyebabkan campuran terlalu lunak pada saat cuaca panas.

Pada konstruksi perkerasan, filler berfungsi sebagai pengisi ruang kosong (voids) di antara agregat kasar sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan kerapatan massanya lebih kasar. Dengan bubuk isian yang berbutir halus maka luas permukaan akan bertambah, sehingga luas bidang kontak yang dihasilkan juga akan bertambah luasnya, yang mengakibatkan tahanan terhadap gaya geser

menjadi lebih besar sehingga stabilitas geseran akan bertambah. Penelitian ini menggunakan filler berupa semen Portland dan serbuk besi.

Serbuk besi merupakan salah satu bahan alternative yang dapat di pergunakan sebagai bahan tambah untuk perkerasan jalan. Serbuk Besi merupakan bahan yang dihasilkan dari sisa-sisa potongan yang berbahan dasar besi yang didapat dalam jumlah cukup banyak dan dapat meningkatkan stabilitas campuran perkerasan.

Persyaratan filler Serbuk Besi sebagai berikut :

1. Agregat yang lolos saringan no. 100
2. Lebih dari 75% lolos saringan no. 200
3. Bersifat non plastis

Idealnya kandungan Oksida Serbuk Besi menurut ASTM C 618-78 harganya dibatasi seperti yang tercantum dibawah ini :

Tabel 2.1. Kandungan Oksida Serbuk Besi

NO	Komposisi Bahan	Jumlah (%)
1	SiO ₂ + AL ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	Minimal 70
2	MgO	Maksimal 5
3	SO ₃	Maksimal 4
4	H ₂ O	Maksimal 3

Sumber : ASTM C 618-78

Serbuk Besi yang dapat dijumpai disetiap bengkel las atau pabrik peleburan besi, umumnya dicirikan oleh kandungan mineral yang tinggi. Allophan adalah aluminosilikat amorf yang dengan campuran bahan pengeras dapat membentuk ikatan kompleks

Sifat – sifat besi adalah sebagai berikut :

- a. Profil besi keras dan dapat mencair bila di panaskan dengan suhu tertentu
- b. Tahan terhadap tekan
- c. Lapisan berwarna putih mengkilat dan terasa agak kasar bila digosok diantara jari – jariulk densitynya sangat tinggi (> 0,85)
- d. Daya tahan terhadap air rendah

- e. Perkembangan struktur ikatan baik
- f. Daya lekat maupun plastisitasnya ada bila terjadi perpaduan campuran
- g. Dapat tenggelam dalam permukaan air.

2.3.2. Sifat Agregat

Sifat dan bentuk agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu :

Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*).

Kemampuan dilapisi aspal yang baik,

Kemampuan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman.

2.3.3. Bentuk dan Tekstur Agregat

Bentuk dari agregat dapat berpengaruh terhadap kemampuan kerja (*workability*) dari pada pemadatan juga campuran lapis perkerasan dan jenis perkerasan. Bentuk partikel juga mempengaruhi kekuatan dari suatu lapis perkerasan selama masa layanan. Bentuk dan tekstur agregat mempengaruhi stabilitas dari lapisan perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut.

Partikel agregat dapat berbentuk :

a. Bulat (*rounded*)

Agregat yang dijumpai di sungai pada umumnya telah mengalami pengikisan oleh air sehingga umumnya berbentuk bulat. Partikel agregat saling bersentuhan dengan luas bidang kontak kecil menghasilkan daya *interlocking* yang lebih kecil dan lebih mudah tergelincir.

b. Lonjong (*elongated*)

Partikel agregat berbentuk lonjong dapat ditemui di sungai-sungai atau bekasan dapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya > 1.8 kali diameter rata-rata. Sifat *interlocking* nya hampir sama dengan yang berbentuk bulat.

c. Kubus (*cubical*)

Partikel berbentuk kubus merupakan bentuk agregat hasil dari mesin pemecah batu (*stone crusher*) yang mempunyai bidang kontak yang lebih luas sehingga memberikan *interlocking* / sifat saling mengunci yang lebih besar. Dengan demikian lebih tahan terhadap deformasi yang timbul. Agregat berbentuk kubus ini paling baik digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan.

d. Pipih (*flacky*)

Partikel agregat berbentuk pipih juga merupakan hasil dari mesin pemecah batu ataupun memang merupakan sifat dari agregat tersebut yang jika dipecahkan cenderung berbentuk pipih. Agregat pipih yaitu agregat yang lebih tipis dari 0.6 kali diameter rata-rata. Agregat berbentuk pipih mudah pecah pada waktu pencampuran, pemadatan, ataupun akibat beban lalu lintas.

e. Tak beraturan (*irregular*)

Partikel agregat yang tidak beraturan, tidak mengikuti salah satu yang disebutkan diatas.



Gambar 2.2 Bentuk – bentuk Agregat

Sumber : Data lapangan Laboratorium PSP3 Balai
Besar

Tekstur permukaan berpengaruh pada ikatan antara batu dengan aspal.
Tekstur permukaan agregat biasanya terdiri atas :

Kasar sekali (*very rough*)

Kasar (*rough*)

Halus

Halus dan licin (*polished*)

Permukaan agregat yang halus memang mudah dibungkus dengan aspal, tetapi sulit untuk mempertahankan agar film aspal itu tetap melekat. Karena makin kasar bentuk permukaan makin tinggi sifat stabilitas dan keawetan suatu campuran aspal dan agregat. Untuk mendapatkan nilai stabilitas dari campuran lapis aspal beton (LASTON) dengan memperkokoh sifat saling mengunci dari agregat dan tahan terhadap suatu reaksi perpindahan dipakai agregat berbentuk kubus dengan tekstur permukaan yang kasar (bidang kontak lebih besar), karena semakin kasar *surface* tekstur agregat maka konstruksi lebih stabil dibandingkan dengan permukaan halus.

2.3.4. Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan campuran dari berbagai diameter butiran agregat yang membentuk susunan campuran tertentu. Gradasi agregat ini diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan satu set saringan (dengan ukuran saringan 19.1mm; 12.7mm; 9.52mm; 4.76mm; 2.38mm; 1.18mm; 0.59mm; 0.279mm; 0.149mm; 0.074mm;), dimana saringan yang paling kasar diletakkan diatas dan yang paling halus terletak paling bawah. Satu set saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup.

Untuk menunjukkan klasifikasi agregat yang disebut gradasi (*grading*) umumnya digunakan suatu grafik. Absis menunjukkan ukuran butiran (dalam skala logaritma) dan ordinat menunjukkan prosentase dari berat yang melalui nomor saringan tertentu.

2.3.5. Daya Lekat Terhadap Aspal

Daya lekat terhadap aspal (*affinity of asphalt*) dari suatu agregat yaitu kecenderungan agregat untuk menerima atau menolak suatu pelapisan aspal. Dalam kaitannya dengan daya lekat terhadap aspal, agregat terbagi menjadi dua yaitu agregat yang menyukai air (*hidrophilic*) dan agregat yang menolak air (*hidrophobic*). Agregat *hidrophilic* apabila dilapisi aspal akan mudah mengelupas, sedangkan agregat *hidrophobic* daya lekatnya terhadap aspal tinggi sehingga tidak mudah mengelupas bila dilapisi aspal. Jadi pemakaian untuk lapis aspal beton sebaiknya menggunakan agregat *hidrophobic* agar aspal dapat

melekat baik. Contoh dari agregat *hidrophobic* adalah batu kapur, sedang contoh *hidrophilic* adalah granit dan batuan yang mengandung silica.

2.3.6. Porositas Agregat

Porositas suatu agregat mempengaruhi nilai ekonomi suatu campuran (agregat dengan aspal), karena makin tinggi porositas makin banyak aspal yang terserap sehingga kebutuhan aspal makin besar.

2.3.7. Pengujian Agregat

Agregat yang akan dipergunakan sebagai material campuran perkerasan jalan harus memenuhi persyaratan sifat dan gradasi agregat seperti yang telah ditetapkan dalam spesifikasi pekerjaan jalan.

Maka agregat yang akan digunakan harus di uji terlebih dahulu :

Analisa Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar

Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berat Isi Agregat

Kelekatan Agregat terhadap Aspal

Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Batasan dari masing – masing agregat ini sering kali berbeda, menurut bina marga agregat menjadi :

Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 4 (=4.75mm).

Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 4 (=4.75mm).

Bahan Pengisi (*filler*), adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan No. 200 (=0.075mm).

21.4. Semen Portland

Definisi dari spesifikasi ini semen Portland adalah produk yang didapatkan dengan membubukkan kerak besi yang terdiri dari material pokok, yaitu kalsium silikat hidrolik. Semen portland dibuat dari batu kapur (*limestone*) dan mineral yang lainnya, dicampur dan dibakar dalam sebuah alat pembakaran dan sesudah itu didapat bahan material yang berupa bubuk. Bubuk tersebut akan mengeras dan

terjadi ikatan yang kuat karena suatu reaksi kimia ketika dicampur dengan air. Komposisi senyawa kimia dari semen Portland adalah sebagai berikut dalam Tabel 2.2. Komposisi senyawa kimia dari semen Portland

No	Oksidasi	Lambang	Kode	Prosentase
1	Calcium oxide	CaO	C	60 – 65
2	Magnesium oxide	MgO	M	0 – 5
3	Aluminium oxide	Al ₂ O ₃	A	4 – 8
4	Ferrie oxide	Fe ₂ O ₃	F	2 – 5
5	Sillicon dioxide	SiO ₂	S	20 – 24
6	Sulfur trioxide	SO ₃	s	1 – 3

Sumber : <https://id.scribd.com/doc/277985229/3/Tabel-3-2-Empat-senyawa-dari-semen-portland>

Kekuatan 100% dari semen dapat dilihat pada campuran beton semen yang mengeras pada hari 28 setelah bereaksi dengan air. Proses kimia tersebut dinamakan proses hidrasi. Ketentuan mineral yang paling pokok untuk memproduksi semen portland adalah kapur/lime (CaO), silica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan besi oksida (Fe₂O₃).

Karakteristik semen portland dengan berbagai tipe yang salah satunya akan digunakan dalam penelitian ini di Tabel 2.2

Tabel 2.3. Karakteristik semen portland

No	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan :					
	Uji permeabilitas udara, m ² /kg					
	Dengan alat :					
	Turbidimeter, min	160	160	160	160	160
	Blaine, min	280	280	280	280	280
2	Kekekalan :					
	Pemuaian dengan autoclave, maks %	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3	Kuat tekan :					
	Umur 1 hari, kg/cm ² , minimum	-	-	120	-	-
	Umur 3 hari, kg/cm ² , minimum	125	100	240	-	80
			70 ^{a)}			
	Umur 7 hari, kg/cm ² , minimum	200	175	-	70	150
		120 ^{a)}				
	Umur 28 hari, kg/cm ² , minimum	280	-	-	170	210
4	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat:					
	Gillmore					
	- Awal, menit, minimal	60	60	60	60	60
	- Akhir, menit, maksimum	600	600	600	600	600
	Vicat					
	- Awal, menit, minimal	45	45	45	45	45
	- Akhir, menit, maksimum	375	375	375	375	375

.Sumber :SNI 15-2049-200/ICS 91.100.10 BSN

Dalam penelitian ini seperti pada Tabel 2.3.di atas tipe semen portland yang digunakan adalah semen portland tipe I yang sangat umum digunakan dalam berbagai macam pekerjaan.

2.5. Aspal

Aspal sebagai bahan pengikat merupakan senyawa hidrokarbon berwarna coklat gelap atau hitam pekat yang dibentuk dari unsur – unsur asphathenes, resins dan oli. Aspal pada lapis perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan ikat antara agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan masing – masing agregat.

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat atau yang diperoleh dari hasil pemurnian minyak bumi, atau yang merupakan kombinasi dari bitumen – bitumen tersebut, satu dan yang lainnya atau dengan minyak bumi atau turunan-turunan dari padanya (Standard ASTM D-8).

Bitumen adalah suatu campuran hidrokarbon dari alam atau yang terjadi karena proses pemanasan bumi, atau kombinasi keduanya, sering kali disertai turunan-turunan non metal yang mungkin bersifat gas, cair, setengah padat atau padat dan larut semua dalam sulfida. Hidrokarbon adalah bahan dasar utamadari aspal yang umum disebut bitumen. Aspal adalah material yang pada temperatur ruang bersifat *thermoplastis*. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan sampai pada temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4 – 10% berdasarkan berat campuran, atau 10– 15% berdasarkan volume campuran.

Fungsi aspal dalam campuran aspal beton, pertama sebagai bahan pelapis dan perekat agregat, kedua sebagai lapis resap pengikat (*prime coat*) adalah lapis tipis aspal cair yang diletakkan diatas lapis pondasi sebelum lapis berikutnya. Ketiga lapis pengikat (*tack coat*) adalah lapis aspal cair yang diletakkan diatas jalan yang telah beraspal sebelum lapis berikutnya dihampar berfungsi sebagai pengikat diantara keduanya, dan sebagai pengisi ruang yang kosong antara agregat kasar, halus dan *filler*.

1.1.5.1. Jenis Aspal

Secara umum aspal dibagi menjadi dua kelompok yaitu aspal alam dan aspal buatan.

a. Aspal Alam

Aspal ini langsung terdapat di alam, memperolehnya tanpa proses pemasakan. Di Indonesia terdapat dipulau Buton di istilahkan sebagai Asbuton (*Aspal Batu Buton*). Aspal ini merupakan campuran antara bitumen dan mineral dari ukuran debu sampai ukuran pasir yang sebagian besar merupakan mineral kapur. Sifat mekanis Asbuton menunjukkan pada temperatur <30 °C rapuh dipukul pecah dan pada tempertur 30°C - 60°C menjadi plastis apabila dipukul akan menjadi lempeng (pipih) selanjutnya pada temperatur 100 °C -150 °C akan menjadi cair (Departemen PU.,1980).

b. Aspal Buatan

Aspal buatan dihasilkan dari hasil terakhir penyaringan minyak tanah kasar (*crude oil*), sehingga merupakan bagian terberat dari minyak tanah kasardan terkental. Oleh karena itu untuk memperoleh aspal dengan mutu baik dipilih bahan baku minyak bumi dengan kadar parafin rendah.

Berdasarkan nilai penetrasi atau kekerasan aspal, AASHTO membagi aspal kedalam lima kelompok jenis aspal, yaitu aspal 40-50, aspal 60-70, aspal 85-100, aspal 120-150, dan aspal 200-300. Yang dimaksud angka kekerasan adalah berapa dalam masuknya jarum penetrasi kedalam contoh aspal.

Penelitian ini menggunakan aspal pertamina penetrasi 60/70 yang merupakan aspal minyak karena tingkat penetrasi ini dianggap cocok dengan iklim di Indonesia, hal ini dikarenakan di Indonesia merupakan daerah dengan iklim tropis dimana memiliki suhu yang lebih besar dari 24 °C. Aspal penetrasi 60/70 diperkirakan memiliki kemampuan untuk menghindari terjadinya pelunakan pada temperatur tinggi saat musim kemarau.

1.1.5.2. Sifat Aspal

Aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai:

Bahan pengikat , memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri.

Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Berdasarkan uraian tersebut diatas berarti aspal haruslah mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh) terhadap cuaca, mempunyai adhesi dan kohesi serta sifat elastis yang baik.

Sifat-sifat yang dimiliki aspal antara lain :

a. Daya tahan aspal (*durability*)

Daya tahan aspal disandarkan pada daya tahan lama terhadap perubahan sifatnya apabila mengalami "*proccesing*" dan juga pengaruh cuaca. Semuanya ini berpengaruh terutama atas daya tahannya terhadap pengerasan sesuai dengan jalannya waktu. Faktor-faktor yang menyebabkan pengerasan ini yang sesuai dengan jalannya waktu antara lain :

Oksidasi

Adalah reaksi oksigen dengan aspal, proses ini tergantung dari sifat aspal dan temperaturnya. Oksidasi akan memberikan suatu lapisan film yang keras pada aspal itu.

Penguapan

Penguapan adalah evaporasi dari bagian-bagian yang lebih ringan dari aspal, karena aspal merupakan campuran persenyawaan hydrocarbon yang kompleks dan mempunyai perbedaan berat molekul yang besar.

Polimerisasi

Ialah penggabungan dari molekul-molekul sejenis untuk membentuk molekul yang lebih besar. Aspal adalah penggabungan molekul-molekul hydrokarbon dengan berat molekul besar. *Polimerisasi* sangat merugikan karena menyebabkan aspal lebih getas sehingga perkerasan jalan mudah retak-retak.

Thixotrophy

Thyxotrophy adalah perubahan dari viscositas sesuai dengan jalannya waktu.

Pemisahan

Pemisahan adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan pemindahan bagian-bagian minyak (*oil*) atau resin atau *alphaltenes* dari aspal sebagai akibat dari penyerapan (*absorption*) yang selektif dari batuananya dimana dapat diletakkan dan peristiwa ini mengakibatkan kerasnya dan kadang juga menjadi lunaknya aspal tadi.

Syneresis

Syneresis adalah reaksi penyebaran yang terjadi di aspal karena pembentukan atau penyusunan struktur didalam aspal itu. Cairan minyak yang tipis yang berisi bagian yang sedang atau yang lebih berat disebarkan pada permukaan.

b. Adhesi dan kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

c. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah material yang *termoplastis*, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Aspal yang cair dapat masuk ke pori – pori agregat pada penyemprotan / penyiraman lapis perkerasan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mulai mengeras dan mengikat aspal pada tempatnya.

d. Pengaruh pengerasan aspal

Aspal pada proses pencampuran, dipanaskan, dan dicampur dengan agregat. Agregat dapat dilapisi dengan penyemprotan/penyiraman aspal panas ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses pelaburan. Terjadi proses oksidasi selama proses pelaksanaan, menyebabkan aspal menjadi getas (*viskositas* bertambah tinggi). Peristiwa perapuhan terus berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai. Selama masa pelayanan, aspal mengalami oksidasidan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi pula oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi. (Silvia Sukirman, 1999).

1.1.5.3. Campuran Aspal Panas(*Hotmix*)

Campuran aspal panas dibedakan menjadi 2 (dua) macam, yaitu Campuran aspal panas dengan agregat bergradasi senjang (*Gap Graded Aggregate Mix*) dan agregat bergradasi menerus (*Continuous Graded Aggregate Mix*).

1. *Gap Graded Aggregate Mix* (Campuran dengan Agregat Gradasi Senjang).
Terdiri dari campuran pasir halus, bahan pengisi (*filler*), aspal ditambah dengan proporsi agregat kasar yang bervariasi. Stabilitas diperoleh dari tingkat kekuatan saling mengikat antara butiran pasir yang diikat oleh aspal.
2. *Continuous Graded Aggregate Mix* (Campuran dengan Agregat Gradasi Menerus).

Susunan butiran agregat dari ukuran yang terbesar sampai terhalus agar rongga udara terkontrol dengan baik. Jumlah aspal yang ditambahkan tergantung dari rongga udara yang dikehendaki sesuai dengan kondisi lalu lintas dan iklim yang ada.

Pengujian untuk campuran aspal panas (*Hotmix*) dengan *Asphalt Marshall*, bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal. Ketahanan stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis (dalam Kg), yaitu keadaan dimana terjadi perubahan bentuk campuran aspal akibat beban sampai batas runtuh (dalam).

2.1.5.6. Karakteristik Aspal Beton

Menurut Silvia Sukirman (2003), terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air dan kemudahan pelaksanaan (*workability*).

Di bawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut.

1. Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan mayoritas kendaraan berat membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah :
 - a. Gesekan internal yang dapat berasal dari kekasaran permukaan butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal.

- b. Kohesi yang merupakan gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat.
2. Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.
 3. Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (*konsolidasi/settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas ataupun akibat beban sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli.
 4. Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue Resistance*) adalah kemampuan beton aspal untuk menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.
 5. Kekesatan/tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal.
 6. Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.
 7. *Workability* adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Kemudahan pelaksanaan menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur dan gradasi serta kondisi agregat.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu campuran. Sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas ringan seperti mobil penumpang sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang mempunyai sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi dari pada memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi.

2.1.5.7. *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC)*

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika semen aspal, maka pencampuran umumnya antara 145-155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal dengan *hotmix*. (Silvia Sukirman, 2003).

Material utama penyusun suatu campuran aspal sebenarnya hanya dua macam, yaitu agregat dan aspal. Namun dalam pemakaiannya aspal dan agregat bisa menjadi bermacam-macam, tergantung kepada metode dan kepentingan yang dituju pada penyusunan suatu perkerasan.

Salah satu produk campuran aspal yang kini banyak digunakan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah adalah AC-WC (*Asphalt Concrete - Wearing Course*) / Lapis Aus Aspal Beton. AC-WC adalah salah satu dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-WC, AC-BC dan AC-Base. Ketiga jenis Laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan oleh Bina Marga bersama-sama dengan Pusat Litbang Jalan. Dalam perencanaan spesifikasi baru tersebut menggunakan pendekatan kepadatan mutlak.

Penggunaan AC-WC yaitu untuk lapis permukaan (paling atas) dalam perkerasan dan mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis laston lainnya. Pada campuran laston yang bergradasi menerus tersebut mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya dibandingkan dengan

campuran bergradasi senjang. Hal tersebut menyebabkan campuran AC-WC lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran.

Gradasi agregat gabungan untuk campuran AC-WC yang mempunyai gradasi menerus tersebut ditunjukkan dalam persen berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan harus berada di luar daerah larangan (*restriction zone*) yang diberikan dalam Tabel 2.5. di bawah ini dengan membandingkan dengan AC-BC yang mempunyai ukuran butir agregat maksimum 25 mm atau 1" dan AC-Base 37,5mm atau 1½". Sedangkan AC-WC mempunyai ukuran butir agregat maksimum 19mm atau ¾".



Tabel 2.4. Gradasi Agregat Untuk Campuran Lapis Beton

Ukuran Ayakan (mm)	Laston (AC)		
	WC	BC	Base
37,5	-	-	100
25	-	100	90 – 100
19	100	90 – 100	76 – 90
12,5	90 – 100	75 – 90	60 – 78
9,5	77 – 90	66 – 82	52 – 71
4,75	53 – 69	46 – 64	35 – 54
2,36	33 – 53	30 – 49	23 – 41
1,18	21 – 40	18 – 38	13 – 30
0,600	14 – 30	12 – 28	10 – 22
0,300	9 – 22	7 – 20	6 – 15
0,150	6 – 15	5 – 13	4 – 10
0,075	4 – 9	4 – 8	3 – 7

Sumber :Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, Revisi 3, Divisi 6

Di bawah ini merupakan ketentuan sifat-sifat campuran beraspal panas di Indonesia yang dikeluarkan oleh Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah.Hal tersebut merupakan acuan dalam penelitian ini.

Tabel 2.5. Ketentuan Sifat-sifat Campuran

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

Sumber :Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, Revisi 3, Divisi 6

2.1.5.8.Perencanaan Gradasi Campuran

Selanjutnya dapat dilakukan pemilihan gradasi agregat campuran. Jenis campuran yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji adalah campuran aspal panas AC untuk lapisan wearing course dengan spesifikasi gradasi menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2004, seperti pada table 2.6

Tabel 2.6. Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal AC-WC

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos			% Contoh Target Gradasi	
ASTM	(mm)	Batasan	Daerah Larangan	Fuller	Lolos	Tertahan
1½"	37,5	-	-	-	-	-
1	25	-	-	-	-	-
¾"	19	100	-	100	100	-
½"	12,5	90 – 100	-	82,8	93,0	7,0
⅜"	9,5	maks. 90	-	73,2	80,0	13,0
No.4	4,75	-	-	53,6	55,0	25,0
No.8	2,36	28 – 58	39,1	39,1	36,0	19,0
No.16	1,18	-	25,6 – 31,6	28,6	24,0	12,0
No.30	0,6	-	19,1 – 23,1	21,1	17,0	7,0
No.50	0,3	-	15,5	15,5	12,0	5,0
No.100	0,15	-	-	11,3	8,0	4,0
No.200	0,075	4 – 10	-	8,3	6,0	2,0
						6,0

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2004)

Untuk campuran AC-WC, kombinasi gradasi agregat dianjurkan tidak berhimpit dengan kurva Fuller. Kurva Fuller disajikan dalam Tabel 2.4. untuk campuran AC-WC digunakan dalam spesifikasi ini diperoleh dari rumus berikut ini :

$$P = 100 \left[\frac{d}{D} \right]^{0,45} \dots\dots\dots (2.1)$$

- Keterangan :
- p : persentase bahan yang lolos saringan d (%)
 - D : ukuran butir terbesar (mm)
 - d : ukuran saringan yang ditinjau (mm)

Untuk memperoleh gradasi gabungan cara yang digunakan oleh penulis dengan cara analitis. Kombinasi agregat dari tiga fraksi yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler* dapat digabungkan dengan persamaan dasar dibawah ini.

$$P = A.a + B.b + C.c \dots\dots\dots (2.2)$$

$$I = a + b + c \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

P : Persen lolos agregat campuran dengan ukuran tertentu (%)

A,B,C : Persen bahan yang lolos saringan masing-masing ukuran (%)

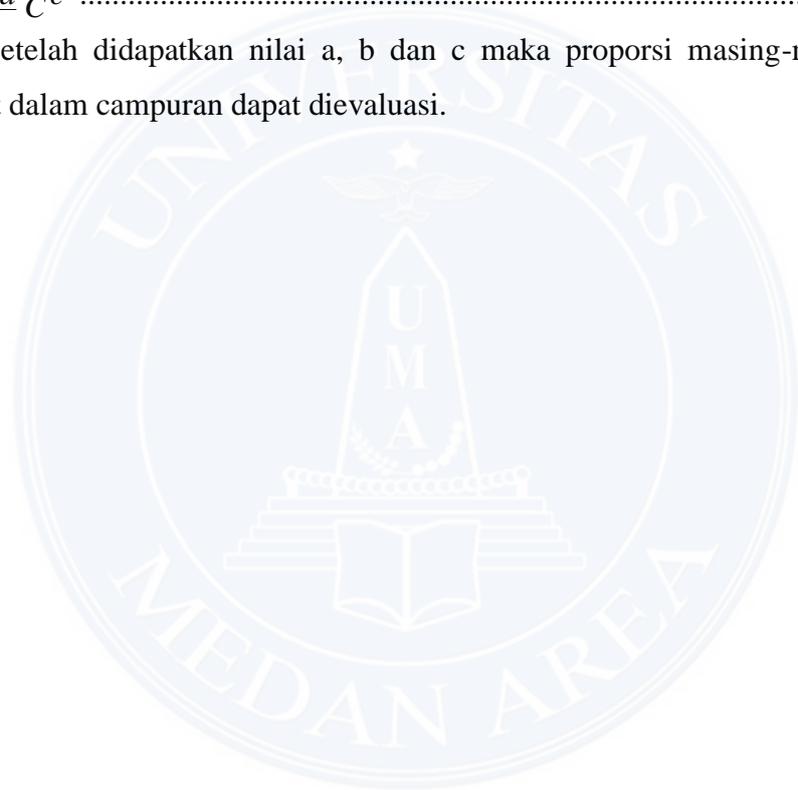
a,b,c : Proporsi masing2 agregat yang digunakan, jumlah total 100% (%)

$$a = \frac{P-B}{A-B} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$c = \frac{A-B}{B.a - P} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$b = 1 - \frac{a}{B} - \frac{c}{C} \dots\dots\dots (2.6)$$

Setelah didapatkan nilai a, b dan c maka proporsi masing-masing fraksi agregat dalam campuran dapat dievaluasi.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

Agregat kasar, diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari PSP3 Balai Besar.

Begitu pula untuk agregat pengisi (*filler*) yang digunakan adalah semen Portland dari PSP3 Balai Besar.

Agregat halus (pasir kali) menggunakan pasir kali.

Filler lain sebagai bahan perbandingan adalah abu besi yang diambil dari bengkel bubut dan bengkel las, hasil sisa-sisa pemotongan dan pengelasan

Untuk bahan aspal menggunakan aspal PERTAMINA dengan penetrasi 60/70.

Tabel 3.1. Komposisi Material

NO	COLD BIN	
	DESCRIPTION	COMBINED (%)
1	COARSE AGGREGATE	19
2	MEDIUM AGGREGATE	24
3	DUST STONE	47.1
4	NATURAL SAND	8
5	FILLER	1.9
		100

Sumber : Data PSP3 Balai Besar

3.2. Peralatan Penelitian

Alat uji pemeriksaan aspal

Alat yang digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain: alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji kelarutan (CCl₄).

Alat uji pemeriksaan agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin Los Angeles (tes abrasi), saringan standar (yang terdiri dari ukuran ¾", ½", 3/8", #4, #8, #16, #30, #50 dan #200), alat uji kepipihan, alat pengering

(oven), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), bak perendam dan tabung sand equivalent.

Alat uji karakteristik campuran agregat aspal

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode Marshall, meliputi:

Alat tekan Marshall yang terdiri kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000kg (5000lb) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flowmeter*.

Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2cm (4inch) dengan tinggi 7,5cm (3inch) untuk Marshall standar.

Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8cm, berat 4,5kg (10lb) dengan tinggi jatuh bebas 45,7cm (18inch).

Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.

Bak perendam yang dilengkapi pengatur suhu.

Alat-alat penunjang yang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaos tangan anti panas, kainlap, kaliper, spatula, timbangan dan tip-ex/cat minyak yang digunakan untuk menandai benda uji.



Gambar 3.2. Alat Uji Marshall

Sumber : Data Lapangan Lab. PSP3 Balai Besar

3.3. Prosedur Perencanaan Penelitian

Untuk menentukan kadar aspal optimum diperkirakan dengan penentuan Garis Pemotong antara VIM Marshall dengan VIM PRD. Ditentukan 2 (dua) kadar aspal di atas dan 2 (dua) kadar aspal dengan kadar *filler* yang sama. Sebelum menentukan kadar aspal optimum harus dibuat terlebih dahulu benda uji dengan variasi kadar aspal rencan yaitu 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; 7,0%. Kemudian dilakukan penyiapan benda uji untuk tes Marshall sesuai tahapan berikut ini :

a. Tahap I

Berdasarkan variasi kadar aspal rencana 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; 7,0% benda uji dibuat dengan komposisi filler yang sama antara serbuk besi dan semen portland 1,9%, untuk menentukan komposisi agregat terlebih dahulu agregat harus digradasi untuk mencari SPGR setiap agregat agar dapat menentukan komposisi masing-masing agregat. Setelah diketahui komposisi agregat barulah bisa dibuat benda ujinya dengan masing-masing tiga benda uji pada setiap kadar aspal rencana. Kemudian dilakukan pengujian Marshall standar dengan 2x75 tumbukan dan pengujian durabilitas untuk menentukan VIM, VMA, VFA, kepadatan, stabilitas, kelelahan, dan hasil bagi Marshall (MQ).

b. Tahap II

Untuk mencari kadar aspal optimum terlebih dahulu harus mencari nilai VIM dari kepadatan mutlak 2x75 tumbukan. Karena untuk mencari kadar aspal optimum dengan cara memotong garis VIM Marshall dengan nilai maksimal 5 dan memotong garis VIM PRD dengan nilai minimum 2, setelah didapat nilai dari garis yang memotong VIM Marshall dan VIM PRD nilainya ditambahkan lalu dibagi 2 dan itulah nilai kadar aspal optimumnya.

c. Tahap III

Setelah didapat nilai kadar aspal optimum dilanjut dengan mencari nilai Marshall Sisa dengan pengujian lama rendaman, yang pertama lama rendaman 30 menit dan yang kedua lama rendaman 24 jam dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapat. Kemudian ditest dengan alat uji marshall

untuk menentukan VIM, VMA, VFA, kepadatan, stabilitas, kelelahan, dan hasil bagi Marshall (MQ) dari kadar aspal optimum.

3.4. Pengujian Marshall

Dilakukan penimbangan agregat sesuai dengan prosentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing fraksi dengan berat campurankira-kira 1200 gram untuk diameter 4 inchi, kemudian dilakukan pengeringan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap sampai suhu $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$. Dilakukan pemanasan aspal untuk pencampuran pada viskositas kinematik 100 ± 10 centistokes. Agar temperatur campuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan di atas pemanas dan diaduk hingga rata. Setelah temperatur pemadatan tercapai yaitu pada viskositas kinematik 100 ± 10 centistokes, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dipanasi pada temperatur 100 hingga 170° dan diolesi vaselin terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas filter atau kertas lilin (*waxed paper*) yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali di bagian tepi dan 10 kali di bagian tengah. Pemadatan standar dilakukan dengan pemadat manual dengan jumlah tumbukan 75 kali di bagian sisi atas kemudian dibalik dan sisi bagian bawah juga ditumbuk sebanyak 75 kali. Pemadatan lanjutan untuk kepentingan kepadatan membal (*refusal*) dilaksanakan seperti cara pemadatan standar hanya tumbukannya dilakukan sebanyak 2 x 75 tumbukan. Setelah proses pemadatan selesai benda uji didiamkan agar suhunya turun, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang beratnya di udara. Benda uji direndam dalam air selama 10-24 jam supaya jenuh. Setelah jenuh benda uji ditimbang dalam air. Benda uji dikeluarkan dari bak dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*) kemudian ditimbang. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu $60\pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 30 hingga 40 menit. Untuk uji perendaman mendapatkan stabilitas sisa pada suhu $60\pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.

Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, lalu diletakkan tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian bagian atas kepala diletakkan dengan memasukkan lewat batang penuntun. Setelah pemasangan sudah lengkap maka diletakkan tepat di tengah alat pembebanan. Kemudian arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada kedudukan di atas salah satu batang penuntun. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh atas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.

- 1) Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inch) per menit, hingga kegagalan benda uji terjadi yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibuka arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat benda uji mengalami kegagalan adalah merupakan nilai stabilitas Marshall.
- 2) Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan. Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 60 detik.
- 3) Untuk pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dengan tingkat penetrasi 60/70.
- 4) Campuran agregat aspal standar dimasukkan ke dalam cetakan dan ditumbuk tiap sisi sebanyak 2x75 kali pada temperatur $\pm 160^{\circ}\text{C}$.
- 5) Selanjutnya campuran agregat dengan aspal dicampur pada suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$, sedangkan suhu pemadatannya ditetapkan pada suhu 140°C .
- 6) Campuran agregat – aspal untuk mencapai kepadatan membal dimasukkan ke dalam cetakan dan ditumbuk tiap sisinya 2x75 kali pada suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$ dan suhu pemadatan $\pm 140^{\circ}\text{C}$.
- 7) Setelah proses pemadatan selesai, benda uji didinginkan selama ± 4 jam dan kemudian dilakukan tes Marshall.

3.5. Prosedur Pengujian Material

Pengujian material yang dilaksanakan pada penelitian ini, meliputi pemeriksaan terhadap agregat kasar, agregat halus *filler* dan aspal dengan mengacu pada standar Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2004).

3.5.1. Pengujian Material Agregat

Dalam pemilihan bahan agregat diupayakan menjamin tingkat penyerapan air yang paling rendah. Hal itu merupakan antisipasi atas hilangnya material aspal yang terserap oleh agregat. Agregat dapat terdiri atas beberapa fraksi, misalnya fraksi kasar, fraksimedium dan abu batu atau pasir alam. Pada umumnya fraksi kasar dan fraksimedium digolongkan sebagai agregat kasar. Sedangkan untuk abu batu dan pasiralam sebagai agregat halus.

A. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk perencanaan ini adalah agregat yang tertahan diatas saringan 2,36 mm atau saringan no.8. Fraksi agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran nominal. Sedangkan ketentuannya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.2. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12 %
	Magnesium sulfat		Maks. 18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles¹⁾	Campuran AC	100 putaran	SNI 2417:2008
	Modifikasi	500 putaran	Maks. 6 %
	Semua jenis	100 putaran	Maks. 30 %
	campuran aspal bergradasi lainnya	500 putaran	Maks. 8 %
			Maks. 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SNI 7619:2012	95/90 ^{*)}
Partikel Pipih dan Lonjong		ASTM D4791	Maks. 10 %
		Perbandingan 1 : 5	
Material lolos Ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks. 2 %

Sumber :Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, Revisi 3, Divisi 6

B. Agregat Halus

Agregat halus dari masing-masing sumber harus terdiri atas pasir alam atau hasil pemecah batu dan harus disediakan dalam ukuran nominal maksimum 2,36 mm. Agregat halus hasil pemecahan dan pasir alam harus ditimbun dalam

cadangan terpisah dari agregat kasar di atas serta dilindungi terhadap hujan dan pengaruh air. Material tersebut harus merupakan bahan bersih, keras bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Ketentuan tentang agregat halus terdapat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60%
Angularitas dengan Uji Kadar Rongga	SNI 03-6877-2002	Min 45
Gumpalan Lempung dan Butir – butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks 10%

Sumber :Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, Revisi 3, Divisi 6

C. Filler

Bahan tambah pengisi harus bebas dari semua bahan yang tidak dikehendaki. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan. Bahan pengisi yang di uji pada penelitian ini adalah semen portland dan abu besi.

Abu besi (*stonedust*) dan bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-4141-1996 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75% dari yang lolos ayakan No.30 (600 micron) dan mempunyai sifat non plastis.

3.5.2. Pengujian Material Aspal

Penggunaan aspal Pen 60 disesuaikan dengan kondisi suhu udara rata-rata 25°C. Metode pengujian aspal sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 dengan mengacu pada SNI 06-6399-2000 dengan ketentuan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Ketentuan Aspal

No	Karakteristik	Metode Pengujian	Persyaratan
1	Penetrasi; 25°C(0,1mm)	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160 – 240
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥ 300
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥ 99
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0

Sumber :Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, Revisi 3, Divisi 6



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian benda uji perbandingan antara *filler* abu besi dengan *filler* semen Portland dalam campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course*(*ac – wc*) terhadap karakteristik marshall maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada uji Marshall dengan kadar aspal rencana seluruh sifat – sifat Marshall yang di dapatkan mempunyai hasil yang hamper sama untuk masing – masing campuran dengan dua macam jenis *filler* abu besi dan semen portland.
2. Hasil untuk kadar aspal rencana pada berat jenis dan stabilitas dapat disimpulkan semakin tinggi kadar aspalnya maka semakin tinggi nilai stabilitasnya. Untuk *filler* abu besi terhadap pengaruh campuran *ac-wc* memenuhi persyaratan dalam standard Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.
3. Untuk perbandingan Marshall sisa dari kadar aspal optimum yang berbeda dengan test marshall dapat disimpulkan bahwa penggunaan semen Portland sebagai *filler* dalam campuran *ac-wc* menghasilkan nilai stabilitas dan berat jenis yang lebih baik dibandingkan dengan abu besi dengan nilai stabilitas 1180 kg.

5.2.Saran

1. Pada lalulintas dengan beban kendaraan berat sebaiknya menggunakan campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* dengan *filler* semen Portland yang mana lebih bisa menahan stabilitas yang tinggi di bandingkan dengan *filler* abu besi.
2. Dalam memenuhi tingkat kenyamanan pengguna jalan dengan kondisi beban kendaraan ringan dan bebas dari genangan, penggunaan abu batu sebagai *filler* mempunyai kelenturan yang lebih baik dari pada semen portland yang cenderung lebih kaku.



DAFTAR PUSTAKA

- Anas Tahir, Jurnal SMARTek, Vol. 7, No. 4, Nopember 2009: 256 – 278, Karakteristik Campuran Beton Aspal (Ac-Wc) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara.
- Badan Standardisasi Nasional BSN, ICS 91.100.10, SNI 15-2049-2004, Semen Portland.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Pemanfaatan Asbuton Buku 3 Campuran Beraspal Panas dengan Asbuton Olahan, No: 001 - 03 / BM / 2006.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2009, Spesifikasi Khusus Seksi 5.7 Lapis Pondasi Pasir Aspal..
- Mochamad Shamier, Evaluasi Karakteristik Campuran Laston Ac – Wc, 2008.
- Proyek Jalan Teori & Praktek, Arthur Wignall Edisi Keempat, 2003.
- Rian Putrowijoyo, Kajian Laboratorium Sifat Marshall Dan Durabilitas Asphalt Concrete - Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Membandingkan Penggunaan Antara Semen Portland dan Abu Batu Sebagai Filler, 2006.
- Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, Revisi 3, Divisi 6 Perkerasan Aspal.

LAMPIRAN C

DOKUMENTASI



Mengeringkan benda uji dengan cara dipanaskan dengan kompor gas



Menyaring agregat BatuPecah 3/4 dengan saringan kasar



Menyaring agregat batu pecah 1/2 dengan saringan kasar



Saringan kasar 1/2



Saringan kasar 3/4

Menimbang agregat yang sudah dikeringkan



Gradasi agregat yang sudah dikeringkan



Mengeringkan agregat yang sudah dicuci bersih untuk mencari SPGR agregat halus dengan menggunakan kompor gas



Oven untuk mengeringkan suatu benda dengan suhu tertentu



Alat penimbang agregat didalam air



Agregat yang sudah dicampur dibungkus plastik agar tidak berserakan



Agregat yang sudah digabung dipanaskan dengan suhu 150 °C



Agregat yang sudah dipanaskan dicampur dengan aspal



Agregat yang sudah dicampur dengan aspal dipanaskan lagi dengan suhu 150 °C



Memadatkan benda uji yang sudah dipanaskan dengan alat hammer test



Membuka benda uji yang sudah dipadatkan



Menimbang benda uji didalam air



Benda uji



Merendam benda uji didalam bak yang berisi air selama 24 jam



Benda uji direndam didalam water bath sebelum di uji dengan marshall test