

INFRASTRUKTUR PEMBAHARU

Silica Fume in Asphalt Concrete-Wearing Course

Yonas Prima Arga Rumbyarso S.T., M.T., M.M.

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta**

1. **Setiap Orang** yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

INFRASTRUKTUR PEMBAHARU

Silica Fume in Asphalt Concrete-Wearing Course

Yonas Prima Arga Rumbyarso S.T., M.T., M.M.



INFRASTRUKTUR PEMBAHARU

Silica Fume in Asphalt Concrete-Wearing Course

Diterbitkan pertama kali oleh CV Amerta Media
Hak cipta dilindungi oleh undang-undang *All Rights Reserved*
Hak penerbitan pada Penerbit Amerta Media
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin tertulis dari Penerbit

Anggota IKAPI

Cetakan Pertama: Desember 2022

21 cm x 29,7 cm

ISBN: 978-623-419-231-5

Penulis:

Yonas Prima Arga Rumbyarso S.T., M.T., M.M.

Editor:

Nur Asih Wulandari, M. Pd.

Desain Cover:

Dwi Prasetyo

Tata Letak:

Ladifa Nanda

Diterbitkan Oleh:

CV. Amerta Media

NIB. 0220002381476

Jl. Raya Sidakangen, RT 001 RW 003, Kel, Kebanggan, Kec. Sumbang,
Purwokerto, Banyumas 53183, Jawa Tengah. Telp. 081-356-3333-24

Email: mediaamerta@gmail.com

Website: amertamedia.co.id

Whatsapp : 081-356-3333-24

Isi di luar tanggung jawab penerbit Amerta Media

KATA PENGANTAR

Segala puji & syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala anugerah & berkat-Nya yang melimpah sehingga buku dengan judul **“Infrastruktur Pembaharu *Silica Fume in Asphalt Concrete-Wearing Course*”** selesai disusun & diterbitkan. Dalam penyusunan buku ini, penulis terjun langsung dalam melakukan penelitian di lapangan serta membaca materi yang berkaitan langsung dengan penggunaan bahan substitusi pada aspal dari buku-buku, jurnal. Menurut hemat penulis, penelitian ini sangat bermanfaat untuk dibaca & dipahami kepada siapa saja yang akan berkecimpung & berminat dalam studi penelitian pengaruh bahan substitusi terhadap aspal seperti mahasiswa, praktisi, & lain-lain serta untuk memperkaya khasanah keustakaan dalam bidang teknik sipil.

Rasa syukur & terima kasih bahwa beberapa kendala, kesulitan & hambatan yang dijumpai dalam penulisan buku ini telah dapat diatasi dengan baik, dalam menyusun & menyelesaikan buku ini, peneliti banyak memperoleh bantuan, nasihat, saran, kerjasama & dukungan serta bimbingan baik moril maupun materiil dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini dengan penuh kerendahan hati peneliti dengan senang hati mengucapkan terima kasih & penghargaan sebesar-besarnya serta setinggi-tingginya kepada yang terhormat :

1. Kedua orangtuaku tercinta, almarhum Ayah : Yohanes Babtista Soenaryo Adipranoto Sar.Mud dan almarhumah Ibu : Monica Srie Sumiyati S.Pd atas jasa-jasanya, kesabaran, do'a, & tidak pernah lelah dalam mendidik serta memberikan cinta yang tulus & ikhlas kepada peneliti semenjak kecil. Semua pencapaian saya selama ini akan saya persembahkan untuk kalian. Pencapaian kali ini sungguh tidak mudah saya dapatkan.

2. Kedua adikku, Ferdinandus Widi Sasongko & Thomas Aquino Pamungkas Tunggul Adikusumo, A.md semangat, doa serta dukungan yang kalian berikan sungguh berarti.
3. Semua pihak yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan buku ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Apabila para pembaca menjumpai kebenaran dalam buku ini, maka hal tersebut tak lain karena berkat Tuhan Yang Maha Esa semata. Sebaliknya meskipun telah diupayakan dengan bersungguh-sungguh agar tidak ada kesalahan, baik sengaja maupun tidak disengaja, apabila pembaca menjumpai kekurangan & kekeliruan baik aspek kualitas maupun aspek kuantitas dari materi yang disajikan dalam buku ini, itu tak lain karena penulis tesis ini adalah manusia biasa yang tak akan pernah luput dari kesalahan & kekhilafan. Semoga dengan terbitnya tesis ini, akan memberikan manfaat yang sebesar-besarnya & dapat berguna bagi kemajuan pendidikan Indonesia pada umumnya & pendidikan teknik sipil pada khususnya, serta pihak lain yang membutuhkan hasil penelitian ini demi menuju kebangkitan daya saing bangsa dalam menghadapi kompetisi global.

Akhir kata semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan dengan berkat yang melimpah & damai sejahtera selalu serta kebaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan buku ini.

Jakarta, 10 Oktober 2022

Yonas Prima Arga Rumbyarso S.T., M.T., M.M.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TENTANG BUKU.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
BAB 1 PENGANTAR.....	1
BAB 2 SISTEM JARINGAN JALAN DI INDONESIA.....	5
BAB 3 TIPE-TIPE STRUKTUR PERKERASAN JALAN	9
BAB 4 MATERIAL KONSTRUKSI	17
BAB 5 MINERAL PENGISI (<i>FILTER</i>).....	21
BAB 6 ASPAL.....	25
BAB 7 <i>SILICA FUME</i>	35
BAB 8 PENUTUP.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
PROFIL PENULIS.....	59

PENGANTAR

Jalan merupakan sebuah bangunan infrastruktur yang digunakan oleh masyarakat sebagai sarana penunjang transportasi dari satu tempat ke tempat lainnya dalam menunjang kegiatan perekonomian distribusi barang serta jasa. Bangunan jalan atau biasa yang kita kenal sebagai konstruksi perkerasan lentur biasanya terbuat dari 2 (dua) material yaitu material dasar agregat dan aspal. Aspal adalah material yang berwarna hitam dengan aroma khas, yang apabila berada pada suhu rendah berbentuk padat serta apabila berada pada suhu tinggi berbentuk cair. Material aspal yang sering digunakan dalam pembuatan perkerasan jalan dikenal dengan nama *hot mix* atau biasa kita sebut sebagai aspal panas. Sedangkan material agregat adalah batuan yang terdiri dari batu besar hingga agregat halus. Kedua material tersebut dapat digunakan dalam pembuatan jalan perkerasan lentur sesuai dengan kebutuhan konstruksi.

Jika kita perhatikan dalam struktur perkerasan jalan, terdapat lapisan yang terletak paling atas yang disebut juga sebagai lapisan permukaan (*surface course*) atau lapisan *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC), dan berfungsi sebagai :

1. Lapis perkerasan penahan beban roda, lapisan memiliki stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan;
2. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan dibawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut;

3. Lapis aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus;
4. Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang memiliki daya dukung yang lebih jelek.

Guna dapat memenuhi fungsi tersebut diatas, pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan memiliki daya tahan yang lama (Silvia Sukirman, 1999).

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas aspal ialah dengan cara menambahkan atau memodifikasi campuran pada aspal dengan bahan polimer. Saat ini sudah banyak dilakukan kajian tentang campuran aspal beton dengan menggunakan bahan tambahan *filler*. *Filler* adalah bahan pengisi ruang antara agregat kasar dan agregat halus, berbutir halus yang lolos saringan no.200 sebanyak 75% atau lebih. Komposisi bahan pengisi (*filler*) yang digunakan dalam campuran aspal relatif sedikit, tetapi *filler* dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap campuran aspal beton. Hal ini dikarenakan dengan adanya *filler* sehingga rongga udara dalam suatu campuran beraspal menjadi lebih kecil, tahan gesek lebih tinggi serta penguncian antar butiran yang tinggi, dan peningkatkan stabilitas campuran aspal beton.

Salah satunya pada teknik bahan perkerasan jalan yaitu penggunaan bahan *silica fume*. Pada umumnya bahan campuran ini digunakan dengan harapan akan mampu memberikan nilai tambah yang lebih pada campuran aspal beton. Pengujian penerapan teknik optimasi dengan menggunakan bahan tambahan *silica fume* pada campuran aspal beton. Bahan tambah adalah bahan yang ditambahkan ke dalam campuran bertujuan untuk memperbaiki kualitas campuran aspal serta meningkatkan kekerasan dan kekuatan perkerasan jalan terutama yang sering dilalui kendaraan berat (Sukirman, 2003). *Silica fume* merupakan produk sampingan (*biprodukt*) dari suatu proses industri *silicon metal*. *Silica fume* mengandung kadar SiO₂ yang tinggi dan merupakan bahan sangat halus, berbentuk butiran, sangat kecil, dan biasanya disebut dengan mikro silika. *Silica fume* mengandung unsur SiO₂ lebih dari 85% dengan demikian *silica fume* dapat dikategorikan sebagai

pozzoland. Pengujian tersebut menggunakan material *silica fume* sebagai bahan tambahan pada campuran beraspal dengan menggunakan perbandingan *filler* semen 100%, semen 75% - *silica fume* 25%, dan semen 25% - *silica fume* 75%.

Buku ini akan mengupas secara tuntas terkait karakteristik *silica fume* sebagai mineral pengisi atau bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal beton untuk mendapatkan hasil yang bermutu baik dan bagaimana perbandingan penggunaan *silica fume* sebagai mineral pengisi atau bahan pengisi (*filler*) yang bermutu baik untuk campuran aspal beton.

SISTEM JARINGAN JALAN DI INDONESIA

SISTEM JARINGAN JALAN DI INDONESIA

Sesuai Undang-Undang tentang Jalan, No.13 tahun 1980 dan Peraturan Pemerintah No.26 tahun 1985, sistem jaringan jalan di Indonesia dapat dibedakan atas sistem jaringan jalan primer dan sistem jaringan jalan sekunder.

Sistem jaringan jalan primer adalah sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan jasa distribusi untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional dengan semua simpul jasa distribusi yang kemudian berwujud kota. Ini berarti sistem jaringan jalan primer menghubungkan simpul-simpul jasa distribusi sebagai berikut :

- Dalam satu satuan wilayah pengembangan menghubungkan secara menerus kota jenjang kesatu (ibu kota propinsi), kota jenjang kedua (ibu kota kabupaten, kotamadya), kota jenjang ketiga (kecamatan), dan kota jenjang dibawahnya sampai ke persil.
- Menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kesatu antar satuan wilayah pengembangan.

Sistem jaringan jalan sekunder adalah sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan jasa distribusi untuk masyarakat dalam kota, ini berarti sistem jaringan jalan sekunder disusun mengikuti ketentuan pengaturan tata ruang kota yang menghubungkan kawasan-kawasan yang mempunyai fungsi primer, fungsi sekunder kesatu. Fungsi sekunder kedua, fungsi sekunder ketiga dan seterusnya sampai ke perumahan.

Fungsi Jalan

Berdasarkan fungsi jalan, jalan dapat dibedakan sebagai berikut yaitu :

- **Jalan Arteri**
Adalah jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien (Undang-Undang RI No.13, Tahun 1980).
- **Jalan Kolektor**
Adalah jalan yang melayani angkutan pengumpulan atau pembagian dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi (Undang-Undang RI No.13, Tahun 1980).
- **Jalan Lokal**
Adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi (Undang-Undang RI No.13, Tahun 1980).

Fungsi Lapisan Perkerasan

Lapisan perkerasan berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri. Dengan demikian memberikan kenyamanan kepada si pengemudi selama masa pelayanan jalan tersebut. Untuk itu dalam perencanaan sangat diperlukan pertimbangan-pertimbangan dari seluruh faktor-faktor yang dapat mempengaruhi fungsi pelayanan konstruksi perkerasan jalan seperti :

- Kinerja perkerasan (*pavement performance*);
- Umur rencana;
- Lalu lintas yang merupakan beban dari perkerasan jalan;

- Sifat tanah dasar;
- Kondisi lingkungan;
- Sifat dan banyak material tersedia di lokasi, yang akan dipergunakan sebagai bahan lapisan perkerasan;
- Bentuk *geometric* lapisan perkerasan.

KINERJA PERKERASAN JALAN

Kinerja perkerasan jalan (*pavement performance*) meliputi 3 hal, yaitu :

- Keamanan, yang ditentukan oleh besarnya gesekan akibat adanya kontak antara ban dan permukaan jalan. Besarnya gaya gesek yang terjadi dipengaruhi oleh bentuk dan kondisi ban, tekstur permukaan jalan, kondisi cuaca dan lain sebagainya.
- Wujud perkerasan (*structural pavement*), sehubungan dengan kondisi fisik dari jalan tersebut seperti adanya retak-retak, amblas, alur, gelombang dan lain sebagainya.
- Fungsi pelayanan (*performance functional*), sehubungan dengan bagaimana perkerasan tersebut memberikan pelayanan kepada pengguna jalan. Wujud perkerasan dan fungsi pelayanan umumnya merupakan satu kesatuan yang dapat digambarkan dengan “kenyamanan mengemudi (*riding quality*)”.

UMUR RENCANA

Umur rencana perkerasan jalan ialah jumlah tahun dari saat jalan tersebut dibuka untuk lalu lintas kendaraan sampai diperlukan suatu perbaikan yang bersifat struktural (sampai diperlukan *overlay* lapisan perkerasan). Selama umur rencana tersebut pemeliharaan perkerasan jalan tetap harus dilakukan, seperti pelapisan non struktural yang berfungsi sebagai lapis aus. Umur rencana untuk perkerasan lentur jalan baru umumnya diambil 20 tahun dan untuk peningkatan jalan 10 tahun. Umur rencana yang lebih besar dari 20 tahun tidak lagi ekonomis karena perkembangan lalu lintas yang terlalu besar dan sulit mendapatkan ketelitian yang memadai (tambahan tebal lapisan perkerasan menyebabkan biaya awal yang cukup tinggi).

TIPE-TIPE STRUKTUR PERKERASAN JALAN

Pertimbangan tipe perkerasan yang dipilih terkait dengan dana pembangunan yang tersedia, biaya pemeliharaan, volume lalu lintas yang dilayani, serta kecepatan pembangunan agar lalu lintas tidak terlalu lama terganggu oleh pelaksanaan Proyek. Tipe-tipe perkerasan yang banyak digunakan adalah :

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*);
2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*);
3. Perkerasan komposit (*composite pavement*);
4. Jalan tak diperkeras (*unpaved road*).

Di Indonesia biasa menggunakan 2 (dua) jenis konstruksi perkerasan yaitu konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*). Perbedaan dari 2 (dua) jenis konstruksi perkerasan ini dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel Perbedaan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku

No	Perkerasan kaku	Perkerasan lentur
1	Komponen perkerasan terdiri dari pelat beton yang terletak tanah atau lapisan material granuler pondasi bawah (<i>sub base</i>)	Komponen perkerasan terdiri dari lapis permukaan, pondasi atas (<i>base</i>) dan pondasi bawah (<i>sub base</i>)

No	Perkerasan kaku	Perkerasan lentur
2	Kebanyakan digunakan untuk jalan kelas tinggi	Digunakan untuk semua kelas jalan dan tingkat volume lalu lintas
3	Pencampuran adukan beton mudah dikontrol	Pengontrolan kualitas campuran lebih rumit
4	Umur rencana dapat mencapai 20-40 tahun	Umur rencana lebih pendek, yaitu sekitar 10-20 tahun, jadi kurang dari perkerasan kaku
5	Lebih tahan terhadap drainase yang buruk	Kurang tahan terhadap drainase buruk
6	Biaya awal pembangunan lebih tinggi	Biaya awal pembangunan lebih rendah
7	Biaya pemeliharaan kecil. Namun, jika terjadi kerusakan biaya pemeliharaan lebih tinggi	Biaya pemeliharaan lebih besar

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2019.

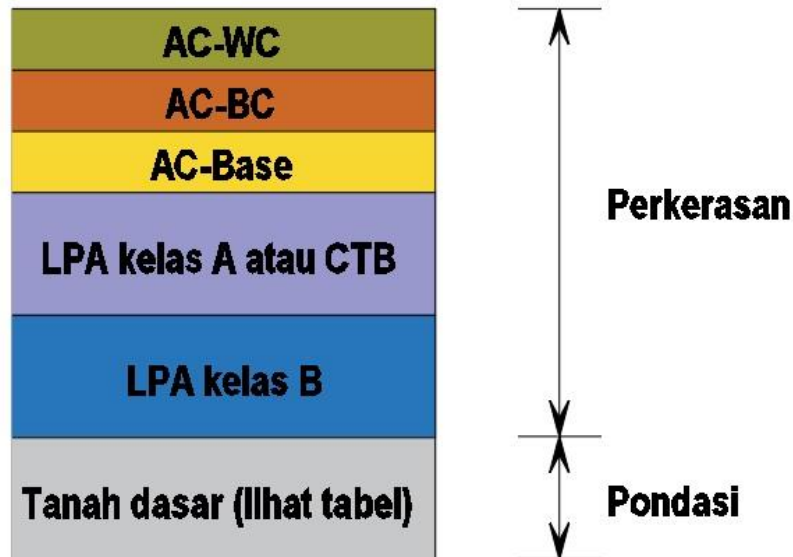
**Tabel Perbedaan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku
(lanjutan)**

8	Kekuatan perkerasan lebih ditentukan oleh kekuatan pelat beton	Kekuatan perkerasan ditentukan oleh kerjasama setiap lapis perkerasan
9	Tebal struktur perkerasan adalah tebal pelat beton	Tebal perkerasan adalah seluruh lapisan pembentuk perkerasan di atas tanah dasar
10	Bahan pengikat adalah semen	Bahan pengikat adalah aspal
11	Apabila terjadi penurunan tanah dasar bersifat sebagai balok di atas perletakan	Apabila terjadi penurunan tanah dasar maka jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)
12	Repetisi beban menimbulkan retak-retak pada permukaan	Repetisi beban menimbulkan <i>rutting</i> (lendutan pada jalur roda)
13	Apabila terjadi perubahan temperatur maka modulus kekakuan tidak berubah, timbul tegangan dalam yang besar	Apabila terjadi perubahan temperatur maka modulus kekakuan berubah, timbul tegangan dalam yang kecil

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2019.

Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

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



Sumber : Olahan dokumentasi, 2022.

**Gambar Struktur perkerasan lentur untuk lalu lintas berat
(Bina Marga, No.02/M/BM/2013)**

Dalam gambar tersebut :

- AC-WC (*asphalt concrete-wearing course*) adalah aspal beton lapis penutup perkerasan jalan yang bergradasi padat.
- AC-BC (*asphalt concrete-binder course*). Lapisan ini diletakkan di antara lapis pondasi atas dan lapis aus yang bergradasi aggregate tertentu.
- AC-Base adalah lapis aspal beton untuk lapis pondasi dengan ukuran agregat maksimum tertentu. Lapisan ini berfungsi untuk memberikan dukungan pada lapisan permukaan, mengurangi tegangan akibat beban dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- LPA adalah lapis pondasi atas (*base course*)
- CTB (*cement treated base*) adalah campuran material berbutir dengan semen dan air dalam perbandingan tertentu. Lapisan ini digunakan sebagai lapis pondasi atas (*base course*).

Berikut dibawah ini adalah Tabel mengenai Metode Perbaikan Tanah pada Perkerasan Lentur.

Tabel Metode Perbaikan Tanah Pada Perkerasan Lentur

No.	Tanah dasar pada	Keterangan
1.	Permukaan tanah asli	Perbaikan tanah dasar (jika dibutuhkan), atau lapis penutup (<i>capping layer</i>) (jika dibutuhkan)
2.	Timbunan	Timbunan dipadatkan pada CBR rancangan
3.	Galian	Perbaikan tanah dasar atau lapis drainase (jika dibutuhkan)

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2019.

Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) atau perkerasan beton (*concrete pavement*) banyak digunakan untuk jalan-jalan utama dan bandara. Jika perkerasan lentur terdiri dari beberapa komponen-komponen pokok seperti lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah, maka perkerasan kaku terdiri dari tanah dasar, lapis pondasi bawah dan pelat beton semen *Portland*, dengan atau tanpa Tulangan. Pada permukaan perkerasan beton cocok digunakan pada jalan raya yang melayani lalu lintas tinggi atau berat, berkecepatan tinggi.



Sumber : Olahan dokumentasi, 2022.

Gambar Struktur perkerasan kaku (beton) untuk lalu lintas berat (Bina Marga, No.02/M/BM/2013)

Berikut dibawah ini adalah Tabel mengenai Metode Perbaikan Tanah pada Perkerasan Kaku.

Tabel Metode Perbaikan Tanah Pada Perkerasan Kaku

No.	Tanah dasar pada	Keterangan
1.	Permukaan tanah asli	Perbaikan tanah dasar (jika dibutuhkan), atau lapis penutup (<i>capping layer</i>) (jika dibutuhkan)
2.	Timbunan	Timbunan dipadatkan pada CBR rancangan
3.	Galian	Peningkatan tanah dasar tebal 850 mm CBR $\geq 4\%$ (jika dibutuhkan)

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2019.

Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Pada perkerasan beton semen *portland*, umumnya dibutuhkan syarat minimum kerataan permukaan jalan. Dalam kondisi dimana kualitas kenyamanan kendaraan diutamakan, maka lapis tambahan (*overlay*) aspal diberikan pada permukaan beton.



Sumber : Olahan dokumentasi, 2022

Gambar Beberapa contoh struktur perkerasan komposit

Perkerasan komposit adalah perkerasan gabungan antara perkerasan beton semen *portland* dan perkerasan aspal. Perkerasan terdiri dari lapis beton aspal (*asphalt concrete, AC*) yang berada diatas perkerasan beton semen *portland* atau lapis pondasi yang dirawat. Lapis pondasi yang dirawat, dapat terdiri dari lapis pondasi dirawat aspal (*asphalt treated base, ATB*) atau lapis pondasi dirawat semen (*cement-treated base, CTB*). Lapis pondasi perlu dirawat, karena untuk memperbaiki kekakuan dan kekuatannya. Perkerasan komposit yang diperlihatkan pada Gambar diatas adalah salah satu contoh

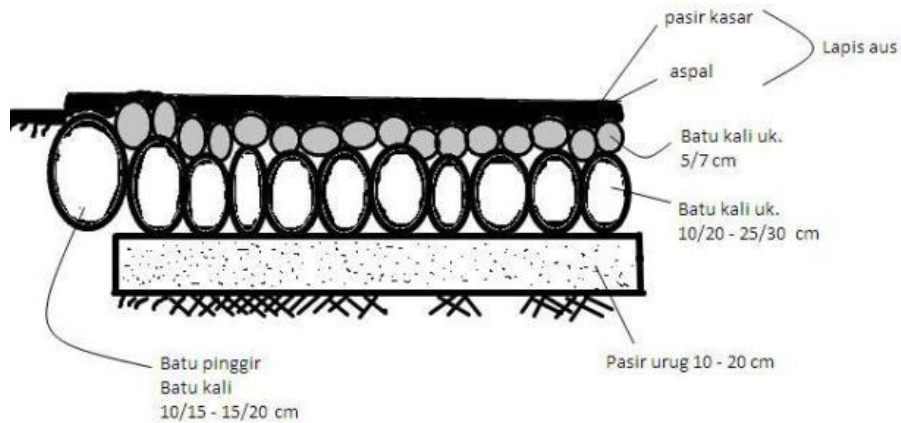
lapis tambahan (*overlay*) lapisan beton aspal (AC) yang dihamparkan diatas perkerasan beton semen *portland* (FHWA, 2006).

Jalan Tak Diperkeras

Jalan tak diperkeras (*unpaved road*) adalah jalan dengan perkerasan sederhana, yaitu permukaan jalan hanya berupa lapisan granuler (kerikil) yang dihamparkan di atas tanah dasar. Jalan yang tak diperkeras kadang-kadang berupa jalan yang terdiri dari tanah dasar (asli atau dimodifikasi) yang dipadatkan. Jalan tipe ini digunakan bila volume lalu lintas sangat kecil atau populasi penduduk yang dilayani masih rendah. Lapis permukaan perkerasan, umumnya hanya digunakan lapisan kerikil yang dipadatkan.

Dalam perancangan, pertimbangan-pertimbangan yang terkait dengan tanah dasar, sama dengan yang digunakan dalam perkerasan lentur. Permukaan tanah dasar harus dimiringkan supaya air yang berinfiltrasi ke dalam perkerasan seminimum mungkin. Fungsi dari lapisan granuler (kerikil) adalah untuk mendukung beban dan memberi pelayanan kendaraan secukupnya. Masalah pada jalan yang tidak diperkeras adalah permukaannya yang kasar, sering terjadi gerakan lateral permukaan kerikil dan timbul debu bila kendaraan lewat. Pemeliharaan drainase samping juga sulit karena selalu terisi dengan tanah atau kerikil yang lepas. Di Indonesia, jalan dengan sistem *telford* merupakan jalan tanpa diperkeras aspal. Perkerasan jalan tipe ini murah, umumnya digunakan untuk jalan di pedesaan. Karena permukaannya kasar, maka tidak nyaman dilalui kendaraan. Dalam perkembangannya, diatas perkerasan *telford* ditutup dengan lapis penetrasi makadam, yaitu dengan menaburkan agregat batu pecah berukuran kecil, dan diselimuti aspal panas. Dengan melakukan pemadatan getar, agregat halus akan terpenetrasi ke dalam rongga-rongga di antara agregat. Jenis perkerasan semacam ini disebut makadam ikatan kering (*dry bound macadam*). Perkerasan makadam juga kadang-kadang ditutup dengan larutan aspal, perkerasan semacam ini disebut makadam ikatan basah (*water bound macadam*). Larutan aspal tersebut berfungsi untuk mengisi rongga di antara agregat dan sekaligus sebagai penutup permukaan perkerasan. Perkerasan ini cukup baik untuk jalan pedesaan, namun tidak cocok digunakan untuk melayani lalu lintas

berat. Dalam perkembangannya, jalan penetrasi makadam yang melayani lalu lintas relatif tinggi, ditutup dengan lapisan beraspal panas.



Sumber : <http://blog.unnes.ac.id/setyomey97/wp-content/uploads/sites/346/2018/03/telford1-2.jpg>, 2022.

Gambar Perkerasan Telford

MATERIAL KONSTRUKSI

MATERIAL KONSTRUKSI PERKERASAN (TANAH DASAR)

Perkerasan jalan diletakkan diatas tanah Dasar, dengan demikian secara keseluruhan mutu dan daya tahan konstruksi perkerasan tak lepas dari sifat tanah Dasar. Tanah Dasar yang baik untuk konstruksi perkerasan jalan adalah tanah Dasar yang berasal dari lokasi itu sendiri atau didekatnya, yang telah dipadatkan sampai tingkat kepadatan tertentu sehingga memiliki daya dukung yang baik serta berkemampuan mempertahankan perubahan volume selama masa pelayanan walaupun terdapat perbedaan kondisi lingkungan dan jenis tanah setempat.

Sifat masing-masing jenis tanah tergantung dari :

- Tekstur;
- Kepadatan;
- Kadar air;
- Kondisi lingkungan, dan lain sebagainya.

Guna mempermudah serta mempelajari dan membicarakan sifat-sifat tanah yang akan dipergunakan sebagai bahan tanah dasar jalan, tanah itu dikelompokkan berdasarkan sifat plastisitas dan ukuran butirnya. Daya dukung tanah dasar dapat diperkirakan dengan mempergunakan hasil

klasifikasi ataupun dari pemeriksaan CBR (CBR lapangan, CBR lapangan rendaman, CBR rencana titik), pembebanan pelat uji dan sebagainya.

MATERIAL KONSTRUKSI PERKERASAN (AGREGAT)

Agregat atau batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan penyal (solid). ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat atau batuan merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain (Silvia Sukirman, 1999).

Berdasarkan ukuran butirannya, agregat dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) jenis antara lain :

- Agregat kasar, yaitu agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm)
- Agregat halus, yaitu agregat dengan ukuran butiran lebih halus dari saringan No.4 (4,75 mm)
- Bahan pengisi (*filler*), yaitu bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan no. 200 (0,075 mm)

Ketentuan agregat kasar dan agregat halus menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III Tahun 2010 dapat dilihat pada Tabel di bawah ini :

Tabel Ketentuan Agregat Kasar untuk Campuran Beton Aspal

Jenis Pengujian	Standard Peraturan	Nilai Maksimum/ Minimum
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
Abrasi dengan Mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	Maks. 30%

Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	Minimal 95%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	95/90 (*)
Partikel pipih dan lonjong (**)	ASTM D4791	Maksimal 10%
Material lolos saringan No.200	SNI 03-4142-1996	Maksimal 2%
<p>Catatan :</p> <p>(*) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar memiliki muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar memiliki muka bidang pecah atau lebih</p> <p>(**) Pengujian dengan perbandingan lengan alat uji terhadap poros 1:5</p>		

Tabel Ketentuan Agregat Halus untuk Campuran Beton Aspal

Jenis Pengujian	Standard Peraturan	Nilai Maksimum/Minimum
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Minimal 60%
Material lolos saringan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maksimal 10%
Angularitas	SNI 03-4141-1996	Minimal 45%
Kadar lempung		Maksimal 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III, 2010.

PENGUJIAN AGREGAT

Agar agregat yang akan digunakan telah sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan maka perlu dilaksanakan pengujian agregat sebab penggunaan agregat yang baik akan sangat mempengaruhi sifat-sifat beton. Biasanya pengujian agregat yang dilakukan adalah pemeriksaan ukuran butiran, gradasi, penyerapan, bentuk partikel, tekstur permukaan dan kelekatan terhadap aspal. Khusus pada pengkajian ini hanya dilakukan pemeriksaan analisis saringan, berat jenis agregatnya dan abrasi.

- **Analisis Saringan**

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk mengetahui ukuran butiran, mengetahui susunan butiran tanah serta perencanaan kombinasi agregat. Ukuran butiran tanah ditentukan dengan menyaring sejumlah tanah

melalui seperangkat saringan yang disusun dengan lubang yang paling besar berada paling atas (Sukirman, 2012).

- Berat Jenis

Pengujian berat jenis dilakukan sebagai parameter petunjuk berat dalam perencanaan campuran. Berat jenis agregat merupakan perbandingan antara volume agregat terhadap volume air. Agregat dengan berat jenis kecil, mempunyai volume yang besar, atau berat yang ringan (Sukirman, 2012).

- Abrasi

Pengujian abrasi merupakan uji dasar kekuatan batuan pendukung *matrix*, *overcompaction* dan tidak mudah tergerus menjadi debu batu. Pengujian ini dilakukan dengan mesin *Los Angeles Abrasion Machine* dimana contoh batuan dan bola-bola besi diputar sebanyak 400 kali di dalamnya. Perbedaan timbangan sebelum dan sesudah putaran disyaratkan maksimum hilang 30% untuk lapis permukaan dan 40% untuk lapis pondasi atas (Soehartono, 2014).

MINERAL PENGISI (*FILTER*)

BAHAN PENGISI ATAU MINERAL PENGISI (*FILLER*)

Bahan pengisi (*filler*) yang merupakan material berbutir halus yang lolos saringan no.200 (0,075 mm), dapat terdiri dari debu batu, kapur padam, semen Portland, atau bahan non-plastis lainnya. Bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu. Bahan pengisi ini memiliki fungsi :

- Sebagai pengisi antara partikel agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan gesek serta penguncian antara butiran yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran.
- Jika ditambahkan ke dalam aspal, bahan pengisi akan menjadi suspense, sehingga terbentuk mastik yang Bersama-sama dengan aspal mengikat partikel agregat. Dengan penambahan bahan pengisi, aspal menjadi lebih kental, dan campuran agregat aspal menjadi bertambah kekuatannya.

Kadar *filler* dalam campuran beton aspal akan berpengaruh pada proses pencampuran, penghamparan dan pemadatan. Selain itu, *filler* juga mempengaruhi sifat elastisitas campuran dan sensitivitasnya terhadap air.

ANALISIS HASIL PENGUJIAN KARAKTERISTIK MINERAL PENGISI (FILLER)

Hasil pengujian karakteristik mineral *filler* (semen dan *silica fume*) yang dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan dan Aspal Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana Jalan Raya Kampus Unkris Jatiwaringin Pondok Gede Bekasi dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

**Tabel Hasil Analisis Pengujian Karakteristik Mineral Pengisi (*Filler*)
Semen**

No.	Karakteristik	Syarat	Hasil Analisis	Keterangan
1.	Lolos Saringan No. 200	Minimal 70 %	97 %	Memenuhi
2.	Berat Jenis Mineral Pengisi (<i>Filler</i>)	-	2,35	-

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Berdasarkan hasil analisis pengujian karakteristik *filler* (semen) seperti yang ditampilkan didalam Tabel diatas, didapatkan hasil pengujian persentase *filler* (semen) yang lolos saringan No.200 adalah sebesar 97% dan berat jenis *filler* didapatkan nilai sebesar 2,35. Hasil analisis kajian ini telah memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

**Tabel Hasil Analisis Pengujian Karakteristik Mineral Pengisi (*Filler*)
*Silica Fume***

No.	Karakteristik	Syarat	Hasil Analisis	Keterangan
1.	Lolos Saringan No. 200	Minimal 70 %	80 %	Memenuhi
2.	Berat Jenis Mineral Pengisi (<i>Filler</i>)	-	2,35	-

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Berdasarkan hasil analisis pengujian karakteristik *filler* (*silica fume*) seperti yang ditampilkan didalam Tabel diatas, didapatkan hasil pengujian persentase *filler* (*silica fume*) yang lolos saringan No.200 adalah sebesar 80%

dan berat jenis *filler* didapatkan nilai sebesar 2,35. Hasil analisis kajian ini telah memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

Tabel Analisis Saringan Mineral Pengisi (*Filler*) – Semen

ANALISIS SARINGAN AGREGAT								
Lokasi		: LABORATORIUM PERKERASAN JALAN & ASPAL FT. UNKRIS						
Tipe Material		: <i>FILLER</i> (SEMEN)						
Ukuran		: 0 - 0,075 mm						
UKURAN SARINGAN		CONTOH I			CONTOH II			RATA - RATA
		JUMLAH TERTAHAN		LOLOS	JUMLAH TERTAHAN		LOLOS	%
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	
1,0"	25	0	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/4"	19	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
1/2"	12,5	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
3/8"	9,5	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
# 4	4,75	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
#8	2,36	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
# 16	1,18	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
# 30	0,60	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
# 50	0,300	1,20	0,1	99,93	2,3	0,1	99,88	99,9
#200	0,075	21,30	1,3	98,72	23,9	1,3	98,7	98,71
Berat Sampel (gr)		1660			1850			

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Berdasarkan hasil analisis saringan mineral pengisi (*filler*) semen seperti pada Tabel di atas, didapatkan hasil tertahan saringan no.8 sebesar 100% dan tertahan pada saringan no.200 sebesar 98,71% dan hasil analisa saringan ini menyatakan bahwa mineral pengisi (*filler*) semen sudah sesuai spesifikasi dan layak digunakan dalam pengkajian.

Tabel Analisis Saringan Mineral Pengisi (*Filler*) – Silica Fume

ANALISIS SARINGAN AGREGAT								
Lokasi		: LABORATORIUM PERKERASAN JALAN & ASPAL FT. UNKRIS						
Tipe Material		: <i>FILLER</i> (SILICA FUME)						
Ukuran		: 0 - 0,075 mm						
UKURAN SARINGAN		CONTOH I			CONTOH II			RATA - RATA
		JUMLAH TERTAHAN		LOLOS	JUMLAH TERTAHAN		LOLOS	%
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	
1,0"	25	0	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/4"	19	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
1/2"	12,5	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
3/8"	9,5	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
# 4	4,75	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
#8	2,36	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
# 16	1,18	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
# 30	0,60	0	0	100,00	0	0	100,00	100,00
# 50	0,300	1,50	0,2	99,85	2,2	0,2	99,78	99,82
#200	0,075	218,50	21,9	78,15	147,8	14,8	85,2	81,69
Berat Sampel (gr)		1660			1850			

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Berdasarkan hasil analisis saringan mineral pengisi (*filler*) *silica fume* seperti pada Tabel di atas, didapatkan hasil tertahan saringan no.8 sebesar 100% dan tertahan pada saringan no.200 sebesar 81,69% dan hasil analisis saringan ini menyatakan bahwa mineral pengisi (*filler*) *silica fume* sudah sesuai spesifikasi dan layak digunakan dalam pengkajian.

ASPAL

DEFINISI ASPAL

Aspal merupakan bahan pembentuk lapis permukaan dari perkerasan Lentur maupun perkerasan komposit. Aspal juga digunakan sebagai bahan pengikat dalam stabilisasi tanah Dasar atau lapis pondasi. Aspal (*asphalt*) adalah material hasil penyaringan minyak mentah dan merupakan hasil dari industri perminyakan. Aspal merupakan material untuk perekat, yang berwarna coklat gelap sampai hitam, dengan unsur pokok yang dominan adalah bitumen. Hidrokarbon merupakan bahan Dasar utama dari aspal yang sering disebut bitumen ini. Aspal yang terbentuk dari banyak molekul hidrokarbon ini memiliki komposisi kimia yang bermacam-macam. Pembentukan koloid aspal bergantung pada sifat kimia dan persen dari molekul hidrokarbon, serta hubungan satu dengan yang lain. Sifat kimia dan fisik aspal yang bermacam-macam ini, disebabkan oleh bervariasinya sumber minyak mentah dan proses penyaringannya. Di Amerika Utara, bahan pengikat umumnya disebut semen aspal (*asphalt cement*), sedang di Eropa disebut "bitumen".

Ter (*tar*) diperoleh dari kondensasi destilasi yang dihasilkan dari destilasi destruktif bahan organik seperti batubara dan kayu. ASTM mendefinisikan ter (*tar*) sebagai material bitumen berwarna coklat atau hitam, yang mempunyai konsistensi cair atau semipadat, dimana bahan

pembentuk utamanya bitumen yang diperoleh selama kondensasi dalam destilasi yang bersifat, merusak dari batubara, minyak, kayu, atau bahan organik lain, dan yang menghasilkan banyak bahan hitam pekat ketika didestilasi. Sifat-sifat semen aspal akan berpengaruh pada kinerja aspal pada perkerasan jalan.

Krebs dan Walker dalam (Hary Christady Hardiyatmo, 2019) mengatakan bahwa menurut asal terjadinya, aspal dapat dibagi menjadi 2 (dua) kelompok, yaitu :

Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang diperoleh langsung dari alam. Aspal alam ini dapat dibedakan menjadi aspal gunung (misalnya, aspal dari Buton) dan aspal danau (misalnya, aspal dari Bermudez, Trinidad).

Aspal Buatan

Aspal buatan adalah aspal yang dibuat dengan cara memproses residu hasil destilasi minyak bumi. Residu tersebut dapat dibedakan menjadi : *asphaltic base crude oil*, *paraffin base crude oil* dan *mixed base crude oil*. Dari ketiga bahan ini *asphaltic base crude oil* mengandung kadar aspal tertinggi. Aspal buatan dapat dibedakan menjadi :

- Aspal minyak yang berasal dari penyulingan minyak bumi.
- Ter (*tar*) yang berasal dari penyulingan batubara.

Di Indonesia, semen aspal (AC) biasanya dibedakan atas nilai penetrasinya, sebagai berikut :

- AC pen 40/50, yaitu semen aspal dengan penetrasi 40-50
- AC pen 60/70, yaitu semen aspal dengan penetrasi 60-70
- AC pen 80/100, yaitu semen aspal dengan penetrasi 80-100
- AC pen 120/150, yaitu semen aspal dengan penetrasi 120-150
- AC pen 200/300, yaitu semen aspal dengan penetrasi 200-300

Semen aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah yang bercuaca panas dan dengan volume lalu lintas tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan di daerah bercuaca dingin atau volume lalu lintas rendah.

Perancangan Campuran Aspal Panas

Tujuan secara umum dari perancangan campuran aspal panas adalah untuk menentukan kombinasi aspal dan agregat yang akan memberikan kinerja perkerasan dalam jangka waktu yang lama dari setiap bagian struktur perkerasan. Perancangan campuran agregat aspal adalah prosedur laboratorium yang harus dikerjakan untuk menyusun susunan agregat yang akan digunakan dalam campuran aspal panas. Prosedur tersebut termasuk menentukan campuran agregat yang cocok untuk menghasilkan gradasi agregat yang baik, dan memilih tipe dan jumlah aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat dari agregat. Dengan perancangan campuran aspal yang baik, maka dapat diharapkan perkerasan akan mampu melayani variasi beban lalu lintas dan kondisi lingkungan, dalam waktu jangka panjang. Terdapat 7 (tujuh) karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal (Sukirman, 2003) adalah sebagai berikut :

Stabilitas (*stability*)

Adalah kemampuan campuran beraspal dalam melawan deformasi plastis atau perubahan bentuk permanen akibat beban lalu lintas. Stabilitas juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan lapisan perkerasan dalam melayani beban lalu lintas dengan tanpa mengalami deformasi permanen, seperti bergelombang dan timbulnya alur-alur. Stabilitas ditentukan oleh tahanan gesek atau derajat penguncian yang dapat dikembangkan oleh semen aspal. Stabilitas akan maksimal, jika agregat memiliki permukaan kasar atau tidak beraturan, dan volume aspal yang cukup, sehingga adhesi dengan permukaan agregat dapat disebarkan dengan merata. Nilai stabilitas Marshall menyatakan beban dalam pon (lb) yang menyebabkan keruntuhan dari benda uji campuran beton aspal panas padat yang diuji dalam alat Marshall. Stabilitas Marshall bertambah bila kadar aspal bertambah sampai nilai tertentu, setelah nilai tersebut stabilitasnya berkurang.

Kelenturan (*flexibility*)

Maksudnya adalah campuran aspal harus mampu mengakomodasi lendutan permanen dalam batas-batas tertentu dengan tanpa mengalami retak-retak. Untuk mendapatkan kelenturan yang tinggi, maka dapat digunakan agregat yang bergradasi terbuka atau gradasi senjang. Aspal yang digunakan harus lunak (penetrasi tinggi), atau digunakan kadar aspal relatif tinggi sejauh dalam batas-batas masih belum terjadi kegemukan (*bleeding*).

Daya tahan atau keawetan (*durability*)

Maksudnya adalah daya tahan suatu lapisan perkerasan terhadap keausan (disintegrasi) akibat beban lalu lintas dan Pengaruh perubahan cuaca, dengan tanpa mengalami pelepasan film aspal dari butiran agregat. Perubahan cuaca dapat mengakibatkan penuaan aspal, yang antara lain meliputi oksidasi dan penguapan fraksi ringan aspal. Faktor-faktor yang dapat meningkatkan durabilitas campuran agregat aspal adalah kadar aspal tinggi, gradasi agregat rapat, pemadatan sempurna, campuran agregat aspal kedap air, serta batuan penyusun lapis perkerasan harus cukup keras.

- Tahan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)
Maksudnya adalah ketahanan campuran beraspal dalam menahan lendutan yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang berulang-ulang, sehingga campuran tidak cepat mengalami retak-retak.
- Kemudahan dikerjakan (*workability*)
Maksudnya campuran aspal harus mudah dikerjakan dalam pelaksanaan di lapangan, termasuk penghamparan dan pemadatnya.
- Kekesatan permukaan atau ketahanan terhadap slip (*skid resistance*)
Maksudnya lapisan permukaan aspal harus mempunyai kekesatan yang cukup tinggi, sehingga menjamin keselamatan pengguna jalan, terutama bila dalam kondisi basah. Untuk mempertinggi kekesatan, maka kadar aspal harus tepat, permukaan agregat harus kasar, agregat berbentuk kubus dan persen agregat kasar cukup.
- Kedap (*impermeable*)
Maksudnya kekedapan campuran beraspal terhadap masuknya air dan udara. Hal ini diperlukan untuk mencegah lolosnya air dan kontak langsung aspal dengan udara. Air dan udara akan mempercepat proses

penuaan aspal. Selain itu, air juga dapat menyebabkan pengelupasan lapis film aspal yang berada di permukaan agregat.

Pada sekitar tahun 1970 di Indonesia sudah mulai digunakan perkerasan aspal dengan menggunakan campuran aspal panas (*hot mix*), untuk pelapisan ulang atau lapis tambahan, pemeliharaan ataupun untuk pembangunan jalan baru. Campuran aspal panas ini dibuat dengan mencampur agregat bermutu tinggi dengan aspal semen. Campuran material ini dipanaskan dengan suhu yang dikontrol. Material campuran aspal panas yang bermutu tinggi ini dirancang sangat kuat dan berumur Panjang. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III Tahun 2010, terdapat 3 (tiga) jenis campuran beraspal di Indonesia, yaitu adalah sebagai berikut :

- Lapis Aspal Beton (Laston) atau AC (*Asphalt Concrete*)
Laston adalah suatu lapis permukaan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas dan suhu tertentu. Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai structural, awet, kadar aspal berkisar 4-7% terhadap berat campuran, dan dapat digunakan untuk lalu lintas ringan, sedang sampai berat. Campuran ini memiliki tingkat kekakuan tinggi. Karena itu, bahan ini tidak cocok diletakkan pada lapisan yang fleksibel, seperti lapis penetrasi. Tipe kerusakan yang umumnya terjadi pada lapisan ini adalah retak dan terlepasnya butiran. Hasil pengkajian menunjukkan bahwa campuran ini perlu perbaikan dalam hal kelenturan dan daya tahannya. (Kimpraswil, 2000) membagi aspal beton menjadi 3 macam campuran, yaitu Laston lapis aus (AC-WC), Laston lapis pengikat (AC-BC) dan Laston lapis pondasi (AC-base), dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran, secara berturut-turut, adalah 19 mm, 25,4 mm dan 37,5 mm.
- Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) atau HRS (*Hot Rolled Sheets*)
Memiliki gradasi senjang ini merupakan campuran aspal dengan kadar aspal dengan kadar aspal yang relatif tinggi daripada jenis Laston. Maksud dari penggunaan kadar aspal yang tinggi adalah agar perkerasan memiliki fleksibilitas tinggi, awet dan tahan terhadap kelelahan. Ketiadaan ukuran agregat antara 2,36 mm dan ukuran 0,6 mm, menyebabkan campuran aspal yang diproduksi cenderung menjadi jenis aspal bergradasi relatif

halus, serta kadar aspal yang berlebihan. Campuran ini lebih tahan terhadap retak, tetapi mudah mengalami deformasi plastis yang berupa timbulnya alur (*rutting*) pada permukaan perkerasan, terutama akibat lalu lintas berat. Laston terdiri dari 2 (dua) macam, yaitu :

- a) Laston lapis pondasi (*HRS-base*)
- b) Laston lapis permukaan (*HRS-wearing course*)

Dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. Laston lapis pondasi memiliki gradasi yang lebih kasar daripada Laston lapis permukaan. HRS termasuk kelompok jenis campuran HRA (*Hot Rolled Asphalt*). Selain itu, terdapat pula *Asphalt Treated Base Levelling* (ATBL) untuk bahan perata sebelum HRS dihamparkan, dan *Asphalt Treated Base* (ATB) yang digunakan sebagai lapis pondasi atas.

- Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) atau *Sand Sheet*

Adalah lapis penutup yang terdiri dari aspal keras dan pasir alam yang bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan, pada suhu tertentu dengan tebal setelah padat 1-2 cm. Latasir ini berfungsi sebagai lapis penutup, lapis aus, dan dapat memberikan permukaan jalan yang rata dan licin. Latasir bersifat kedap air dan kenyal, tidak memiliki nilai struktural, tahan terhadap keausan akibat lalu lintas dan pengaruh cuaca. Campuran ini digunakan untuk jalan dengan lalu lintas ringan, khususnya pada daerah dimana agregat kasar sukar diperoleh. Pemilihan kelas, yaitu kelas A atau B, bergantung pada gradasi pasir yang digunakan. Campuran Latasir biasanya memerlukan penambahan bahan pengisi (*filler*) agar memenuhi sifat-sifat yang diisyaratkan. Campuran ini ketahanannya rendah terhadap alur (*rutting*), karena itu tidak boleh digunakan untuk lapisan yang tebal, pada jalan lalu lintas berat, dan pada daerah tanjakan. Dalam perkembangannya, terutama dalam proyek pemeliharaan jalan, penggunaan Latasir ditingkatkan ke dalam spesifikasi bahan HRSS (*Hot Rolled Sand Sheet*).

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III Tahun 2010, Laston/*Asphalt Concrete* (AC) terbagi atas tiga lapisan antara lain :

1. Laston Lapis Aus/*Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) Lapisan ini merupakan lapisan yang langsung berhubungan dengan roda kendaraan dan meneruskan beban ke lapisan di bawahnya. Lapisan ini dirancang

tahan terhadap gesekan dan tekanan roda ban kendaraan, cuaca serta kedap terhadap air. Menurut (Silvia, 2012), lapisan permukaan memiliki fungsi sebagai berikut :

- Lapis aus sebagai penahan beban roda, harus memiliki stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa layannya.
- Lapis aus harus kedap air, karena apabila air hujan jatuh diatas lapis permukaan maka tidak akan meresap ke lapisan dibawahnya.
- Lapis aus, lapisan menerima langsung gesekan akibat gaya rem dari roda kendaraan sehingga lapis aus mudah menjadi aus.
- Lapis aus menyebarkan beban kendaraan ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang ada di bawahnya.

2. Laston Lapis Pengikat/*Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)* Lapisan ini merupakan lapisan yang terletak di bawah lapis aus dan tidak berhubungan langsung dengan roda kendaraan dan cuaca. Tetapi lapisan ini harus memiliki ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk dapat mengurangi tegangan yang diberikan beban lalu lintas dan diteruskan ke lapisan di bawahnya, yaitu lapis pondasi.

3. Laston Lapis Pondasi/*Asphalt Concrete-Base (AC-Base)*

Lapisan ini merupakan lapisan terbawah yang perlu memiliki stabilitas tinggi untuk dapat menahan beban lalu lintas yang disebarkan roda kendaraan. Berikut merupakan ketentuan sifat campuran laston. Ketentuan sifat-sifat campuran dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel Ketentuan Sifat-Sifat Campuran

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	min	1,0		
	maks	1,4		
Rongga dalam campuran (%)	Min		3	
	maks		5	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	min	15	14	13
Rongga terisi Aspal (%)	maks	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		800

Pelelehan (mm)	Min	2	3
	Maks	4	6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60°C	Min	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepatan membal (refusal)	min	2	

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III, 2010.

PENGUJIAN PROPERTIS ASPAL

Pengujian propertis aspal perlu dilakukan untuk dapat mengetahui apakah aspal yang digunakan pada pengkajian memenuhi syarat yang telah ditentukan. Beberapa pemeriksaan aspal propertis yang biasa dilakukan adalah penetrasi, berat jenis, titik lembek, daktilitas, titik nyala dan titik bakar, kehilangan berat dan kelekatan aspal terhadap agregat. Pemeriksaan yang dilakukan pada kajian ini adalah penetrasi, titik lembek, berat jenis dan daktilitas.

Penetrasi

Tes penetrasi bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan suatu aspal dan menentukan nilai penetrasi aspal yang digunakan. Tes penetrasi merupakan tes pemeriksaan aspal yang paling umum dilakukan. Tes penetrasi dilakukan dengan cara memberikan beban ke permukaan benda uji yang telah dipersiapkan. Benda uji berupa aspal yang telah dipanaskan dan dituang ke dalam cawan, kemudian direndam ke dalam bak perendam selama 1-1,5 jam. Beban yang diberikan ke permukaan benda uji memiliki berat 100 gram pada tumpuan jarum dengan diameter 1 mm selama 5 detik pada temperatur 25°C. Nilai penetrasi dinyatakan dalam angka yang dikalikan dengan 0,1 mm.

Titik lembek

Tes titik lembek bertujuan untuk menentukan temperatur kelelehan aspal. Tes ini merupakan tes yang dianjurkan sebagai tes awal untuk penerimaan bahan aspal di lapangan. Nilai titik lembek yang biasa diperoleh

sekitar 48°C. Tes ini dilakukan dengan melihat waktu dan suhu yang dibutuhkan untuk bola baja berdiameter 9,35 mm mendorong aspal yang berada pada cincin kuningan untuk menyentuh plat dasar.

Berat jenis

Berat jenis adalah pemeriksaan berat jenis aspal yang akan menjadi penting untuk informasi selanjutnya dalam mencari besaran tes pada waktu pelaksanaan pekerjaan. Batasan minimal yang dicantumkan dalam spesifikasi syarat berat jenis di atas 1,0 gram/cc.

Daktilitas

Daktilitas adalah panjang tarikan tanpa putus dari mesin daktilitas yang terdiri dari sepasang mangkuk aspal yang dapat ditarik terpisah pada kecepatan tertentu hingga mencapai jarak minimal 100 cm. Tes ini dilakukan pada suhu kamar 25°C sebagai standar suhu tes daktilitas. Spesifikasi propertis aspal dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel Spesifikasi Properties Aspal

No.	Jenis Pemeriksaan	Unit	Metode Uji	Aspal 60/700		Aspal Modifikasi
				Min	Max	Min
1	Penetrasi 25°C	0,1 mm	SNI-06-2456-1991	60	70	40
2	Titik Lembek	°C	SNI 2434-2011	48		≥ 54
3	Berat Jenis Aspal		SNI 2441:2011	≥ 1		≥ 1
4	Daktilitas	cm	SNI 2432-2011	≥ 100		≥ 100

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III, 2010.

ASPAL MODIFIKASI

Aspal modifikasi merupakan aspal keras yang dicampurkan dengan suatu bahan tambah untuk meningkatkan kinerja aspal yang dibutuhkan. Pertama kali penggunaan aspal modifikasi adalah di luar negeri dengan

maksud mencegah keretakan pada waktu musim dingin serta mencegah terjadinya pelunakan aspal beton akibat panas permukaan jalan di negara dengan musim panas yang ekstrim.

Cara yang paling seringkali digunakan untuk memodifikasi aspal adalah dengan menggunakan zat aditif terhadap campuran aspal. Penggunaan zat aditif ini tentunya dapat menaikkan titik leleh aspal, namun seiring dengan itu terjadi penurunan terhadap angka penetrasi aspal. Sehingga penggunaan zat aditif perlu dibatasi agar kualitas aspal sesuai dengan ketentuan, yaitu angka penetrasi minimal 40 serta titik leleh minimal 54°C. Contoh dari aspal modifikasi adalah salah satunya aspal yang dimodifikasi dengan penambahan *silica fume*.

SILICA FUME

DEFINISI SILICA FUME

The American Institute (ACI) mendefinisikan bahwa *Silica fume (micro-silica)* merupakan hasil produk sampingan pada proses pembuatan *silicon* atau *ferro-silicon alloy* menggunakan kuarsa *silica* dan batubara di dalam tanur listrik tinggi (*Silica Fume Association, 2005*). *Silica fume* berbentuk bulat dan berwarna abu-abu yang mempunyai kisaran ukuran kurang dari 0,1 micron meter. *Silica fume* bersifat pozzolan, dengan kadar kandungan senyawa *silica* dioksida (SiO_2) yang sangat tinggi yakni > 90% (Mostafa, A.E.A., *et al*, 2016). *Silica fume* memiliki kandungan silicon dioxide yang tidak mengandung kristal (H. Zghai, H. Joni and S. Hassan, 2018).

Kajian yang dilakukan oleh (Al Taher, M. G., *et. al.*, 2018) di Cairo, Egypt, membandingkan penggunaan bahan tradisional dan nano sebagai bahan tambah pada campuran beraspal. Bahan tradisional terdiri atas LDPE, kapur dan bahan karet, sedangkan bahan pada nano yaitu *nano silica* dan *silica fume*. Hasil pengkajian menunjukkan bahwa pada campuran beraspal dengan bahan nano menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan bahan tradisional. *Nano silica* menunjukkan kinerja yang terbaik tetapi memiliki harga yang sangat mahal, oleh sebab itu *silica fume* menjadi pilihan yang terbaik dikarenakan kinerja campurannya mendekati kinerja *nano silica* dan lebih ekonomis.



Sumber : Olahan Dokumentasi Penelitian, 2022.

Gambar Silica Fume

DESIGN MIX FORMULA (DMF)

Pada *Design Mix Formula (DMF)* yang akan dihitung yaitu penentuan kadar aspal dengan *Design Mix Formula (DMF)*. Dengan mengevaluasi hasil dari setiap sampel percobaan, dapat disimpulkan Kadar Aspal Optimum (KAO). Agar konsep ini dapat berhasil, maka kadar aspal yang digunakan harus berada dibawah dan diatas dari perkiraan Kadar Aspal Optimum (KAO).

JOB MIX FORMULA (JMF)

JMF adalah rencana campuran yang harus dikembangkan dari rencana gradasi yang dipilih (dalam batas-batas spesifikasi atau pilihan berdasarkan pengalaman masa lalu), dibuat benda-benda uji dengan kadar aspal bervariasi yang umumnya dimulai dari kadar aspal 5%, 5,5% dan 6%, kemudian dilakukan tes Marshall. Parameter yang utama adalah mengetahui

berapa kuat tekanan yang mampu ditahan benda uji tersebut pada rendaman yang diminta (standar tes rendaman adalah 60°C. Dapat ditetapkan lain bila suhu permukaan perkerasan jalan dimana beton aspal akan digelar ternyata mempunyai suhu lebih dari 60°C, umumnya hasil kuat tekan meningkat dari angka kecil berangsur naik mencapai puncak kemudian baru turun lagi. Angka tertinggi kuat tekan akan berhubungan dengan kadar aspal optimum yang akan digunakan sebagai rencana campuran beton aspal. Parameter kedua adalah Marshall Quotient (MQ) yang harus berada pada rentang 200-400 kg/mm, yaitu angka yang didapat dari kuat tekan MS (dalam kg) dibagi dengan lelehan (*flow*, dalam mm). Angka lebih kecil berarti campuran akan bersifat terlalu lunak dan angka lebih besar berarti campuran akan bersifat terlalu getas.

Apabila hasil tes telah memuaskan, maka proporsi masing-masing ukuran batu agregat dan persentase lolos saringannya harus diterjemahkan dalam pelaksanaan pekerjaan dengan menyetel *col bin* dan *hot bin* serta pompa bitumen agar mendapatkan hasil yang sedekat mungkin dengan *Job Mix Formula* (JMF).

PENGUJIAN VOLUMETRIK CAMPURAN

Pengujian volumetrik adalah pengujian yang menentukan besarnya nilai densitas, *specific gravity* campuran dan porositas dari masing-masing benda uji. Pengujian meliputi pengukuran tinggi, diameter, berat SSD, berat di udara, berat dalam air dari sampel dan berat jenis agregat, *filler* dan aspal. Sebelum dilakukan pengujian *Marshall*, benda uji tersebut menjalani pengujian Volumetrik untuk masing-masing benda uji. Data yang diperoleh prngkajian laboratorium dianalisis menggunakan persamaan sebagai berikut:

Berat Jenis

- Berat jenis agregat halus dan *filler* dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis} = \frac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots 2.1$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(W_2 - W_1) - W_4}{W_4} \times 100\% \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan :

W1 = Berat piknometer (gram)

W2 = Berat piknometer + contoh SSD (gram)

W3 = Berat piknometer + SSD + air (gram)

W4 = Berat benda contoh uji setelah di oven (gram)

- Berat jenis agregat kasar dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis} = \frac{W1}{W - (W3 - W2)} \dots\dots\dots 2.3$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{W - W4}{W4} \times 100\% \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan :

W = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

W1 = Berat contoh SSD (gram)

W2 = Berat keranjang kawat (gram)

W3 = Berat keranjang kawat + contoh dalam air (gram)

W4 = Berat benda contoh uji setelah di oven (gram)

Perkiraan Kadar Aspal Rencana

$$Pb = 0,035.(\%CA) + 0,045.(\%FA) + 0,18.(\%FF) + K \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

Pb = Perkiraan kadar aspal optimum

CA = Nilai presentase agregat kasar (% terhadap agregat tertahan saringan no.8)

FA = Nilai presentase agregat halus (% terhadap agregat lolos saringan no.8 dan tertahan saringan no.200)

FF = Nilai presentase *filler* (bila perlu)

K = konstanta (asumsi 0,5 - 1,0) untuk laston

Hasil perhitungan Pb dibulatkan ke 0,5% ke atas terdekat

Catatan :

Nilai konstanta sekitar 0,5 - 1,0 untuk AC dan 2,0 - 3,0 untuk HRS. Dari persamaan di atas dapat dihasilkan nilai kadar aspal rencana yang akan digunakan untuk menghitung kadar aspal optimum pada keadaan normal.

Pengujian Marshall

Rancangan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall serta telah distandarisasi oleh ASTM (*American Standard Testing and Material*) ataupun AASHTO (*The American Association of State Highway and Transportation Officials*) melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin pengujian) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) serta *flow meter*. Pengujian Marshall untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap keelehan plastis (*flow*). Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengacu pada SNI 06-2489- 1991, AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76.

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III Tahun 2010, nilai stabilitas minimal pada campuran beraspal adalah sebesar 800 kg dan besar nilai keelehan sebesar 2-4 mm. Sedangkan untuk aspal modifikasi nilai stabilitas campuran beraspal minimal sebesar 1000 kg dan nilai keelehan sebesar 2-4 mm. Berikut ini adalah alat Marshall yang ditunjukkan Gambar di bawah ini.



Sumber : Laboratorium Perkerasan Jalan dan Aspal Universitas
Krisnadwipayana, 2022.

Gambar Alat Marshall

Ada beberapa karakteristik yang didapatkan setelah melakukan pengujian *Marshall*, diantaranya adalah :

- Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*Flow*) merupakan perubahan bentuk plastis campuran aspal yang diakibatkan oleh beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01". Nilai *flow* = r. Nilai kelelehan ditunjukkan oleh jarum dial tepat setelah angka jarum dial pada stabilitas tidak bergerak lagi dan dinyatakan dalam milimeter.

- Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan campuran beraspal untuk dapat menahan deformasi yang disebabkan beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan angka oleh jarum dial. Nilai stabilitas menunjukkan batas maksimum campuran beraspal untuk dapat menerima beban sampai sesaat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram. Stabilitas dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$S = P \times r$$

Dimana :

P = Kalibrasi *proving ring* pada o

r = Nilai pembacaan arloji *stability*

- *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelehan. Tingginya nilai MQ menunjukkan kemungkinan semakin tingginya kekakuan campuran beraspal dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Sehingga rendahnya nilai MQ dapat berakibat alur dan bleeding. Berikut rumus menentukan *Marshall Quotient* :

$$\text{MarshallQuotient} = \frac{\text{Stability}}{\text{flow}}$$

Analisis Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Ada 3 (tiga) macam agregat yang digunakan dan diuji dalam pengkajian ini, yaitu :

- 1) Agregat kasar;
- 2) Agregat halus;
- 3) Mineral pengisi (*filler*)

Adapun hasil analisis pengujian karakteristik masing-masing agregat tersebut diatas adalah sebagai berikut :

Analisis Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Hasil pengujian karakteristik agregat kasar yang dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan dan Aspal Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana Jalan Raya Kampus Unkris Jatiwaringin Pondok Gede Bekasi dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel Hasil Analisis Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Berat Jenis Agregat Kasar			
Berat Dalam Air (BA)	:	1858,80	gr
Berat cawan	:	179	gr
Berat SSD (BJ)	:	2996,20	gr
Berat kering oven + cawan	:	3131,90	gr
Berat kering oven (BK)	:	2952,90	gr
Isi / volume = BJ – BA	:	1137,400	

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Tabel Hasil Analisis Pengujian Karakteristik Agregat Kasar (Lanjutan)

Berat air yang terserap = BJ – BK	:	43,300	
BJ Kering (<i>Bulk</i>) = BK / (BJ-BA)	:	2,596	
BJ Kering permukaan jenuh (SSD) = BJ / (BJ-BA)	:	2,634	
BJ semu (<i>apparent</i>) = BK / (BK-BA)	:	2,699	
Penyerapan (absorbtion) = (BJ-BK)/BK*100%	:	1,466	%

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Analisis Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Hasil pengujian karakteristik agregat halus yang dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan dan Aspal Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana Jalan Raya Kampus Unkris Jatiwaringin Pondok Gede Bekasi dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Tabel Hasil Analisis Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Berat Jenis Agregat Halus			
Berat cawan	:	65,20	gr
Berat pikno	:	260,60	gr
Berat kering permukaan jenuh (SSD)	:	760,60	gr
Berat pikno + BU + aquades = Bt	:	1577,30	gr
Berat pikno + aquades = B	:	1227,80	gr
Berat kering oven + cawan	:	507,00	gr
Berat kering oven = BK	:	441,80	gr

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Tabel Hasil Analisis Pengujian Karakteristik Agregat Halus (Lanjutan)

Isi / volume = B + SSD - Bt	:	411,100	
Berat air yang terserap = SSD-BK	:	318,800	
BJ kering (Bulk) = BK / (B+SSD-Bt)	:	1,075	
BJ kering permukaan jenuh (SSD) = SSD/(B+SSD-Bt)	:	1,850	
BJ semu (apparent) = BK/(B+BK-Bt)	:	4,787	
Penyerapan (absorption) = ((500-BK)/BK)*100%	:	72,159	%

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Berdasarkan hasil analisis pengujian karakteristik agregat halus yang kita lihat didalam Tabel didapatkan bahwa hasil berat jenis kering (*bulk*) memiliki nilai sebesar 1,075, berat kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) memiliki nilai sebesar 760,60, berat jenis jemu (*apparent*) memiliki nilai sebesar 4,787, berat isi/volume memiliki nilai sebesar 411,1. Hasil kajian yang didapatkan dari analisis pengujian ini telah memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

Analisis Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70

Material aspal yang digunakan dan diuji dalam pengkajian ini adalah aspal penetrasi 60/70. Analisis pengujian material dilaksanakan dengan mengacu kepada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

Hasil pengujian karakteristik material aspal yang dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan dan Aspal Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana Jalan Raya Kampus Unkris Jatiwaringin Pondok Gede Bekasi dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel Hasil Analisis Pengujian Karakteristik Material Aspal

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Persyaratan	Hasil Analisis	Keterangan
1.	Penetrasi 25°C, 100 gr, 5 detik, 0,1 mm	SNI 2456:2011	60-70	60	Memenuhi
2.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	140	Memenuhi
3.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	335	Memenuhi
4.	Titik Bakar (°C)	SNI 2433:2011	-	355	-
5.	Kehilangan Berat (gr)	SNI 2434:2011	Maks. 0,8	0,2	Memenuhi
6.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	1,029	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Berdasarkan hasil analisis pengujian karakteristik material aspal penetrasi 60/70 yang telah dilakukan maka dapat dilihat dalam Tabel di atas. hasil penetrasi memiliki nilai sebesar 60, pengujian daktilitas dengan temperatur bak perendam 25°C didapatkan nilai sebesar 140 cm, titik nyala memiliki nilai sebesar 335°C, titik bakar memiliki nilai sebesar 355°C dan kehilangan berat 0,2 gr serta hasil pengujian dan pemeriksaan berat jenis didapatkan nilai sebesar 1,029.

Komposisi Campuran

Penentuan komposisi campuran laston pada kajian ini adalah dengan menggunakan metode trial and error, metode ini dengan cara mencoba-coba persentase setiap fraksi agregat agar gradasi campuran sesuai dengan range dari gradasi yang disyaratkan. Dalam metode trial and error ini

digunakan perhitungan dari setiap hasil gradasi lolos saringan pada semua ayakan mulai dari saringan 3/4" hingga saringan no.200. Data awal komposisi gradasi lolos saringan dan komposisi gradasi lolos saringan yang didapatkan dari pengujian analisa saringan agregat dan akan digunakan pada pengoperasian metode trial and error tersebut dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel Analisis Saringan Agregat BIN I (Abu Batu)

ANALISIS SARINGAN AGREGAT								
Lokasi		: LABORATORIUM PERKERASAN JALAN & ASPAL FT. UNKRIS						
Tipe Material		: BIN I (ABU BATU)						
Ukuran		: 0 - 5 mm						
		CONTOH I			CONTOH II			RATA - RATA
		JUMLAH TERTAHAN		LOLOS	JUMLAH TERTAHAN		LOLOS	
		gr	%	%	gr	%	%	%
inch	mm							
1,0"	25	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/4"	19	0	-	100,00	0	-	100,00	100,00
1/2"	12,5	0	-	100,00	0	-	100,00	100,00
3/8"	9,5	0	-	100,00	0	-	100,00	100,00
# 4	4,75	0	-	100,00	0	-	100,00	100,00
#8	2,36	442,08	21,46	78,54	213,91	10,46	89,54	84,04
# 16	1,18	1101,48	53,47	46,53	868,51	42,47	57,53	52,03
# 30	0,60	1469,60	71,34	28,66	1233,95	60,34	39,66	34,16
# 50	0,300	1592,17	77,29	22,71	1355,63	66,29	33,71	28,21
#200	0,075	1938,05	94,08	5,92	1698,99	83,08	16,92	11,42
Berat Sampel (gr)		2060			2045			

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Berdasarkan hasil analisa saringan agregat bin I seperti pada **Tabel** di atas, didapatkan hasil lolos saringan no.8 sebesar 84,04% dan tertahan pada saringan no.200 sebesar 88,6% dan hasil analisis saringan ini menyatakan bahwa agregat bin I sudah sesuai spesifikasi dan layak digunakan dalam pengkajian

Tabel Analisis Saringan Agregat BIN II (Agregat Sedang)

ANALISIS SARINGAN AGREGAT								
Lokasi		: LABORATORIUM PERKERASAN JALAN & ASPAL FT. UNKRIS						
Tipe Material		: BIN II (AGREGAT SEDANG)						
Ukuran		: 5 - 10 mm						
		CONTOH I			CONTOH II			RATA - RATA
UKURAN SARINGAN		JUMLAH TERTAHAN		LOLOS	JUMLAH TERTAHAN		LOLOS	%
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	
1,0"	25	0	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/4"	19	0	-	100,00	0	-	100,00	100,00
1/2"	12,5	0	-	100,00	0	-	100,00	100,00
3/8"	9,5	0	-	100,00	0	-	100,00	100,00
# 4	4,75	935,83	37,21	62,79	1388,47	59,21	40,79	51,79
#8	2,36	2004,71	79,71	20,29	2033,35	86,71	13,29	16,79
# 16	1,18	2170,95	86,32	13,68	2177,10	92,84	7,16	10,42
# 30	0,60	2199,37	87,45	12,55	2247,68	95,85	4,15	8,35
# 50	0,300	2277,33	90,55	9,45	2226,58	94,95	5,05	7,25
#200	0,075	2377,68	94,54	5,46	2292,00	97,74	2,26	3,86
Berat Sampel (gr)		2515			2345			

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Berdasarkan hasil analisis saringan agregat bin II seperti pada Tabel di atas, didapatkan hasil tertahan saringan no.8 sebesar 16,79% dan tertahan pada saringan no.200 sebesar 96,14% dan hasil analisa saringan ini menyatakan bahwa agregat bin II sudah sesuai spesifikasi dan layak digunakan dalam pengkajian.

Tabel Analisis Saringan Agregat BIN III (Agregat Kasar)

ANALISIS SARINGAN AGREGAT								
Lokasi		: LABORATORIUM PERKERASAN JALAN & ASPAL FT. UNKRIS						
Tipe Material		: BIN III (AGREGAT KASAR)						
Ukuran		: 10 - 19 mm						
		CONTOH I			CONTOH II			RATA - RATA
UKURAN SARINGAN		JUMLAH TERTAHAN		LOLOS	JUMLAH TERTAHAN		LOLOS	%
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	
1,0"	25	0	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/4"	19	0	0	0	0	0	0	100
1/2"	12,5	0,06	0,45	99,55	1076,1	29,85	70,15	84,85
3/8"	9,5	10,45	83,6	16,4	3349,8	92,92	7,08	11,74
# 4	4,75	12,05	96,41	3,59	3540,5	98,21	1,79	2,69
#8	2,36	12,24	97,95	2,05	3559,9	98,75	1,25	1,65
# 16	1,18	12,26	98,05	1,95	3563,5	98,85	1,15	1,55
# 30	0,60	12,27	98,15	1,85	3567,1	98,95	1,05	1,45
# 50	0,300	12,28	98,25	1,75	3570,8	99,05	0,95	1,35
#200	0,075	12,32	98,59	1,41	3583,0	99,39	0,61	1,01
Berat Sampel (gr)		3135			3605			

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

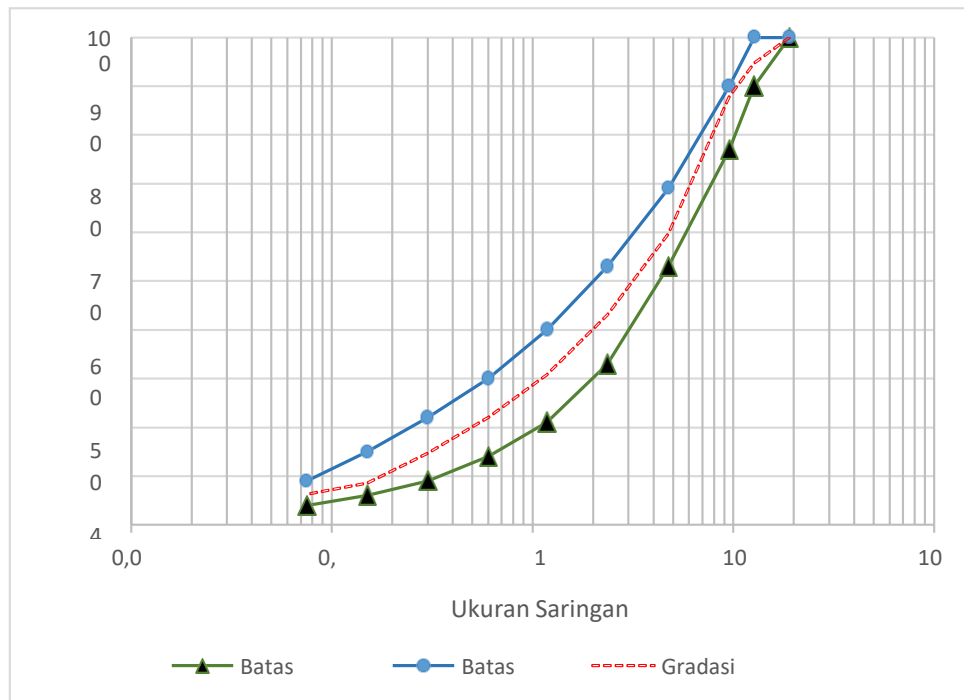
Berdasarkan hasil analisis saringan agregat bin III seperti pada Tabel di atas, didapatkan hasil tertahan saringan no.8 sebesar 1,65% dan tertahan pada saringan no.200 sebesar 98,99% dan hasil analisa saringan ini menyatakan bahwa agregat bin III sudah sesuai spesifikasi dan layak digunakan dalam pengkajian.

Tabel Rekapitulasi persen komposisi pada campuran laston per fraksi agregat

Ukuran Saringan		Gradasi Lolos Saringan (%)				Gradasi Campuran				Total	Spesifikasi	Keterangan
Inch	mm	Bin I	Bin II	Bin III	Filler	Bin I	Bin II	Bin III	Filler			
						42%	37%	20%	1%			
3/4"	19	100,00	100,00	100,00	100,00	42,00	37,00	20,00	1,00	100,00	100	Memenuhi
1/2"	12,5	100,00	100,00	84,85	100,00	42,00	37,00	16,97	1,00	96,97	90 - 100	Memenuhi
3/8"	9,53	100,00	100,00	11,74	100,00	42,00	37,00	2,35	1,00	82,35	77 - 90	Memenuhi
No. 4	4,75	100,00	51,79	2,69	100,00	42,00	19,16	0,54	1,00	62,70	53 - 69	Memenuhi
No. 8	2,36	84,04	16,79	1,65	100,00	35,30	6,21	0,33	1,00	42,84	33 - 53	Memenuhi
No. 16	1,18	52,03	10,42	1,55	100,00	21,85	3,86	0,31	1,00	27,02	21 - 40	Memenuhi
No. 30	0,6	34,16	8,35	1,45	100,00	14,35	3,09	0,29	1,00	18,73	14 - 30	Memenuhi
No. 50	0,3	28,21	7,25	1,35	99,90	11,85	2,68	0,27	1,00	15,80	9,0 - 22,0	Memenuhi
No. 200	0,075	11,42	3,86	1,01	98,71	4,80	1,43	0,20	0,99	7,41	4,0 - 9,0	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Berdasarkan hasil rekapitulasi persen komposisi agregat pada campuran laston per fraksi agregat di atas, dapat disimpulkan bahwa jumlah gradasi lolos untuk setiap ukuran saringan seluruhnya memenuhi persyaratan yang telah ditentukan di dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Selanjutnya, untuk lebih menunjukkan apakah persen komposisi agregat pada campuran laston tersebut telah memenuhi persyaratan, maka dilakukan kontrol dengan menggunakan grafik titik kontrol gradasi yang ditunjukkan pada Gambar berikut ini.



Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Gambar Grafik titik kontrol gradasi agregat pada campuran laston AC-WC

Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal rencana merupakan persen komposisi aspal yang dibutuhkan dalam pembuatan benda uji campuran beraspal. Kadar aspal rencana dapat ditentukan dengan menggunakan rumus yang dikeluarkan oleh Bina Marga dalam Pedoman Konstruksi dan Bangunan Bina Marga No: 001 – 03 / BM / 2006, yaitu sebagai berikut :

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%F) + K$$

Keterangan :

P_b : Kadar aspal rencana

CA : *Course Aggregate* atau Agregat kasar tertahan saringan no. 8

FA : *Fine Aggregate* atau Agregat halus lolos saringan no.8 dan tertahan no.200

F : *Filler* atau agregat halus lolos saringan no. 200

K : Konstanta 0,5 – 1 untuk laston

Tabel
Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Ukuran Saringan		Hasil Gradasi Campuran
Inch	mm	
3/4"	19	100,00
1/2"	12,5	96,97
3/8"	9,53	82,35
No. 4	4,75	62,70
No. 8	2,36	42,84
No. 16	1,18	27,02
No. 30	0,6	18,73
No. 50	0,3	15,80
No. 200	0,075	7,41
AGREGAT KASAR (CA)		0,035
AGREGAT HALUS (FA)		0,045
FILLER (F)		0,180
KONSTANTA (K)		0,5 - 1,0
KADAR ASPAL (PB)		5,729

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan hasil kadar aspal rencana yaitu 5,729% dan dibulatkan menjadi 5,7%, sehingga dalam kajian ini penulis menggunakan kadar aspal 5,7%.

Pengujian Marshall

Setelah melakukan pemeriksaan karakteristik agregat dan aspal, menghitung komposisi aspal dan agregat, serta melakukan pembuatan benda uji, maka langkah selanjutnya adalah melaksanakan pengujian *Marshall* campuran Laston (AC-WC) dengan *silica fume* sebagai *filler*. Dalam pengkajian ini menggunakan kadar *filler silica* 75% - 25% semen dan *silica* 25% - semen 75%. Hasil yang diperoleh dari karakteristik *Marshall* yaitu Stabilitas, Kelelehan (*flow*), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void in Mixture* (VIM), *Void Filled with Asphalt* (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ) yang memenuhi syarat untuk campuran Laston yang dimodifikasi sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Hasil pengujian *Marshall* pada kajian ini akan direkapitulasi ke dalam tabel. Selain itu, hasil pengujian *Marshall* yang

didapatkan akan dibuat ke dalam bentuk diagram perbandingan untuk mengetahui secara rinci apakah data tersebut sudah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 untuk campuran Laston yang dimodifikasi. Sebelum melakukan pengujian marshall maka dilakukan perhitungan *density* (berat isi) terlebih dahulu dan hasil dari perhitungan *density* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel Perhitungan *Density* (Berat Isi)

No	Jenis Sampel	T. Sampel (mm)	Berat Kering (gr)	Volume (cc)	Berat Isi (gr/cc)
1	<i>Silica Fume 75%</i>	72,000	1164,200	607,800	1,915
2	<i>Silica Fume 75%</i>	72,000	1149,600	560,400	2,051
3	<i>Silica Fume 25%</i>	67,000	1154,800	599,100	1,928
4	<i>Silica Fume 25%</i>	70,000	1168,600	611,000	1,913

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

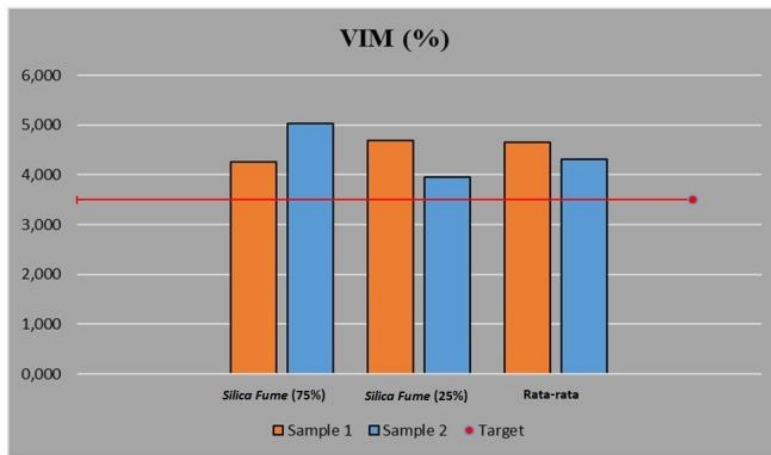
Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Laston AC-WC Dengan *Silica Fume* Sebagai *Filler*.

Tabel Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Laston AC-WC Dengan *Silica Fume* Sebagai *Filler*.

No	Karakteristik	Syarat	Fly Ash	
			75%	25%
1	VIM (%)	3,5 - 5,5	4,260	4,690
2			5,040	3,950
Rata - Rata			4,650	4,320
1	VMA (%)	Min. 15	16,820	16,720
2			15,710	16,850
Rata - Rata			16,265	16,785
1	VFA (%)	Min. 65	89,380	89,320
2			88,637	89,400
Rata - Rata			89,009	89,360
1	Stabilitas (kg)	Min. 1000	1186,230	2239,600
2			1186,230	2065,470
Rata - Rata			1186,230	2152,535
1	Flow (mm)	Min. 3	5,200	4,300
2			6,000	5,300
Rata - Rata			5,600	4,800
1	MQ (kg/mm)	Min. 300	228,120	520,830
2			197,705	389,710
Rata - Rata			212,913	455,270

Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

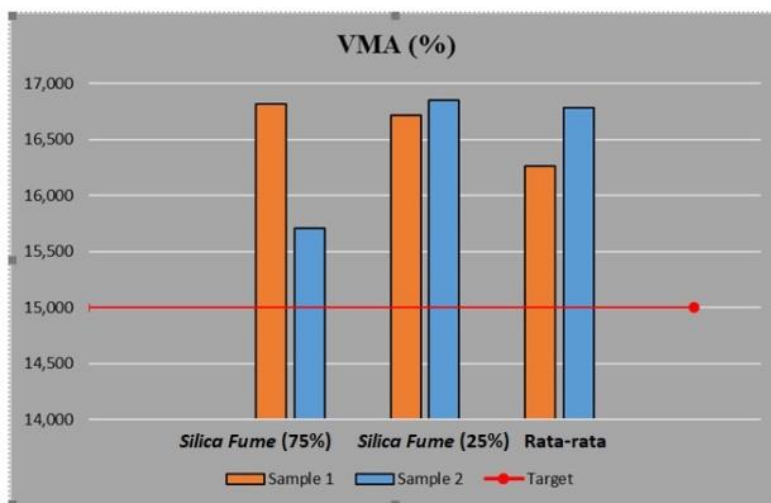
Berdasarkan hasil perhitungan *marshall* pada campuran laston AC-WC dengan *silica fume* sebagai *filler* di atas maka ditentukan perbandingan dengan syarat yang sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Berikut diagram tabel perbandingan dapat dilihat pada Gambar dibawah ini :



Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Gambar Diagram Perbandingan Nilai VIM

Berdasarkan diagram perbandingan nilai VIM (*Void In Mixture*) diatas maka di dapatkan hasil nilai VIM (*Void In Mixture*) dengan menggunakan *silica fume* 75% pada sampel 1 dengan nilai 4,26% dan sampel 2 dengan nilai 5,04% dan *silica fume* 25% pada sampel 1 dengan nilai 4,69% dan sampel 2 dengan nilai 3,95%. Maka dari hasil VIM (*Void In Mixture*) tersebut sesuai dengan syarat Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

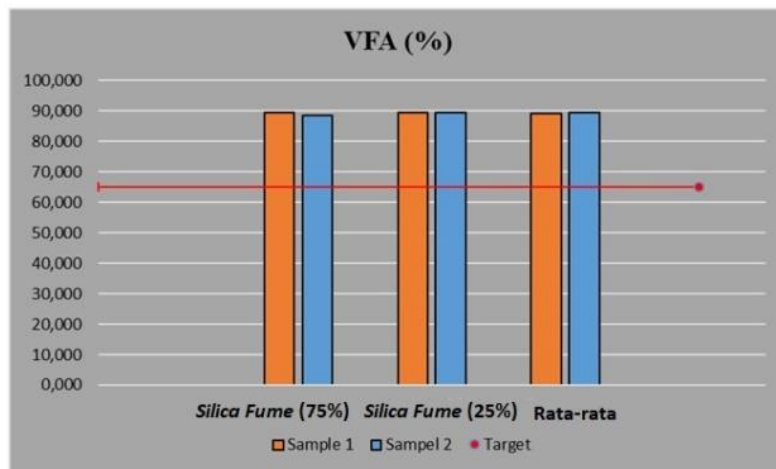


Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Gambar Diagram Perbandingan Nilai VMA

Berdasarkan diagram perbandingan nilai VMA (*Void in Mineral Agregat*) diatas maka di dapatkan hasil nilai VMA (*Void in Mineral Agregat*) dengan menggunakan *silica fume* 75% pada sampel 1 dengan nilai 16,82% dan sampel 2 dengan nilai 15,71% dan *silica fume* 25% pada sampel 1 dengan

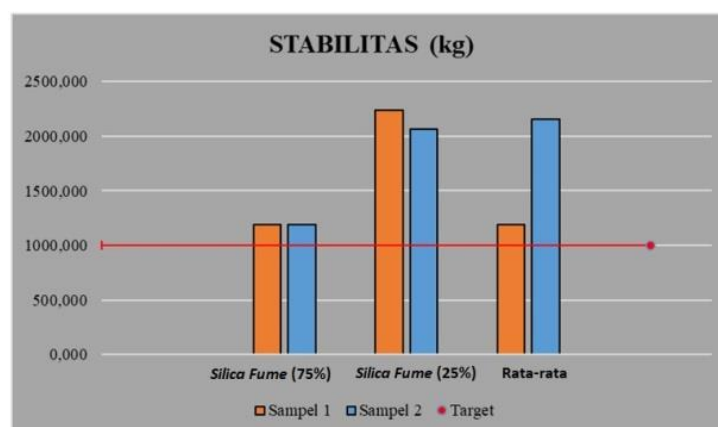
nilai 16,72% dan sampel 2 dengan nilai 16,85%. Maka dari hasil VMA (*Void in Mineral Agregat*) tersebut sesuai dengan syarat Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.



Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Gambar Diagram Perbandingan Nilai VFA

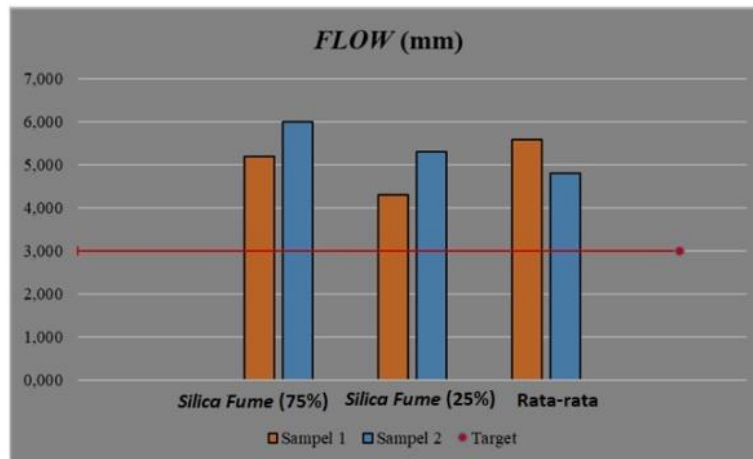
Berdasarkan diagram perbandingan nilai VFA (*Void filled with asphalt*) diatas maka di dapatkan hasil nilai VFA (*Void filled with asphalt*) dengan menggunakan *silica fume* 75% pada sampel 1 dengan nilai 89,38% dan sampel 2 dengan nilai 88,637% dan *silica fume* 25% pada sampel 1 dengan nilai 89,32% dan sampel 2 dengan nilai 89,4%. Maka dari hasil VFA (*Void filled with asphalt*) tersebut sesuai dengan syarat Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.



Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Gambar Diagram Perbandingan Nilai Stabilitas

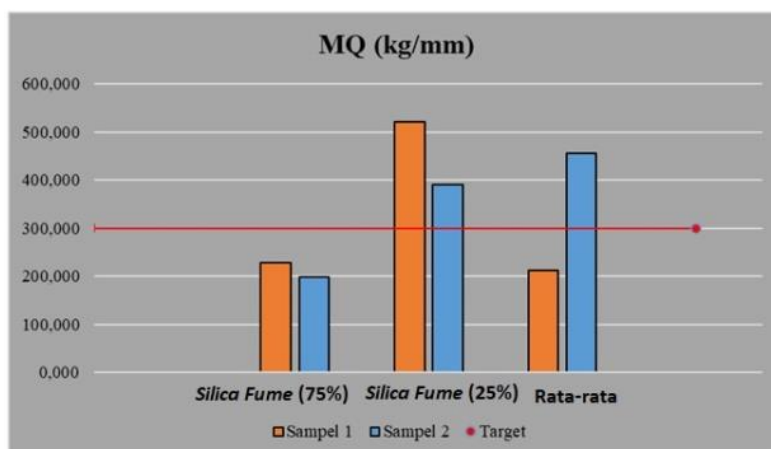
Berdasarkan diagram perbandingan nilai stabilitas diatas maka didapatkan hasil nilai stabilitas dengan menggunakan *silica fume* 75% pada sampel 1 dengan nilai 1186,23 kg dan sampel 2 dengan nilai 1186,23 kg dan *silica fume* 25% pada sampel 1 dengan nilai 2239,6 kg dan sampel 2 dengan nilai 2065,47 kg. Maka dari hasil stabilitas tersebut sesuai dengan syarat Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.



Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Gambar Diagram Perbandingan Nilai Flow

Berdasarkan diagram perbandingan nilai *flow* diatas maka di dapatkan hasil nilai *flow* dengan menggunakan *silica fume* 75% pada sampel 1 dengan nilai 5,2 mm dan sampel 2 dengan nilai 6,0 mm dan *silica fume* 25% pada sampel 1 dengan nilai 4,3 mm dan sampel 2 dengan nilai 5,3 mm. Maka dari hasil *flow* tersebut sesuai dengan syarat Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.



Sumber : Hasil Analisis Pengolahan Data Penelitian, 2022.

Gambar Diagram Perbandingan Nilai MQ

Berdasarkan diagram perbandingan nilai MQ (*Marshall Quotient*) diatas maka di dapatkan hasil nilai MQ (*Marshall Quotient*) dengan menggunakan *silica fume* 75% pada sampel 1 dengan nilai 228,12 kg/mm dan sampel 2 dengan nilai 197,705 kg/mm dan *silica fume* 25% pada sampel 1 dengan nilai 520,83 kg/mm dan sampel 2 dengan nilai 389,71 kg/mm. Maka dari hasil MQ (*Marshall Quotient*) tersebut pada *filler silica fume* 75% tidak memenuhi spesifikasi karena nilai MQ berada dibawah 300 kg/mm namun pada *filler silica fume* 25% sesuai dengan syarat Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

PENUTUP

Pengujian *marshall* pada campuran Laston (AC-WC) pada kadar *filler silica fume* 75%-semen 25% menghasilkan nilai VIM (*Void in Mixture*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VFA (*Void Filled with Asphalt*), Stabilitas, dan *Flow* memenuhi syarat namun hasil nilai MQ (*Marshall Quotient*) tidak memenuhi syarat yang sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

Hasil pengujian *marshall* pada campuran Laston (AC-WC) pada kadar *filler silica fume* 25%-semen 75% menghasilkan nilai VIM (*Void in Mixture*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VFA (*Void Filled with Asphalt*), Stabilitas, *Flow*, dan MQ (*Marshall Quotient*) memenuhi syarat yang sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

Hasil yang diperoleh dari pengujian *marshall* pada campuran Laston (AC-WC) dengan menggunakan *silica fume* sebagai *filler* dengan kadar *silica fume* 75%-semen 25% menghasilkan nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VFA (*Void Filled with Asphalt*), Stabilitas, dan MQ (*Marshall Quotient*) yang lebih kecil dibandingkan dengan kadar *silica fume* 25%-semen 75%. Namun pada nilai VIM (*Void in Mixture*), dan *Flow* pada kadar *silica fume* 75%-semen 25% menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kadar *silica fume* 25%-semen 75%.

Hasil yang diperoleh dari pengujian *marshall* pada campuran Laston (AC-WC) dengan menggunakan *silica fume* sebagai *filler* dengan kadar *silica*

fume 25%-semen 75% memiliki nilai yang lebih baik secara keseluruhan dibandingkan dengan kadar *silica fume* 75%-semen 25%.

Dari hasil campuran Laston (AC-WC) dengan menggunakan *silica fume* sebagai *filler* dapat mengurangi kadar pemakaian semen sebagai *filler*. Sebaiknya masih perlu menambah jumlah benda uji sehingga ketelitian data yang didapatkan lebih kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum 2010 Revisi III*. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Hary Christady Hardiyatmo. 2015. *Pemeliharaan Jalan Raya Perkerasan Drainase Longsor*. Gadjah Mada University Press. Edisi Kedua.
- Hary Christady Hardiyatmo. 2019. *Perancangan Perkerasan Jalan Dan Penyelidikan Tanah*. Gadjah Mada University Press. Edisi Ketiga.
- Ir. Soehartono. 2015. *Teknologi Aspal dan Penggunaannya dalam Konstruksi Perkerasan Jalan*. Penerbit Andi Yogyakarta.
- Meenu Karthikeyan, Dr. Bindhu B. K. 2018. Comparative Study on Bituminous Concrete Modified by Nano Silica and Micro Silica. *International Journal of Science Technology & Engineering. Volume 4*.
- GH. Shafabakhsh, O. Jafaro Ani, S. M. Mirabdolazimi. 2015. Experimental Investigation on Rutting Performance of Micro Silica Modified Asphalt Mixtures. *International Journal of Engineering Research & Technology*.
- Saad Issa Sarsam, 2015. Effect Of Nano Materials (Silica Fumes And Hydrated Lime) On Rheological And Physical Properties Of Asphalt Cement. *Third International Scientific Conference, ME3-CM01, University of Babylon-Babylon-IRAQ*.
- Metwally G. Al-Taher, Hassan D. Hassanin, Mokhtar F. Ibrahim, Ahmad M. Sawan. 2018. Investigation of the Effect of Adding Silica Fume on

Asphalt Concrete Properties. *International Journal of Engineering Research. Volume No. 7.*

Metwally G. Al-Taher, Hassan D. Hassanin, Mokhtar F. Ibrahim, Ahmad M. Sawan. 2018. Comparative Study of Performance of Modified Asphalt Mixtures Using Different Traditional and Nano Additives. *International Journal of Scientific & Engineering Research. Volume No. 9.*

PROFIL PENULIS



Yonas Prima Arga Rumbyarso S.T., M.T., M.M.

Lahir di Jakarta 28 Agustus 1978 sekarang bertempat tinggal di Jalan Haji Ipin No.33 RT 11 RW 01 Kelurahan Pondok Labu 12450 Kecamatan Cilandak Kotamadya Jakarta Selatan Provinsi DKI Jakarta. Untuk kontak penulis dapat menghubungi email sebagai berikut: yonasprima@unkris.ac.id; primusindonesiaku@gmail.com.

Penulis adalah Dosen Tetap Teknik Sipil dan Kepala Laboratorium Arsitektur, Teknik Sipil & Perencanaan Wilayah Perkotaan Universitas Krisnadwipayana. Pendidikan formal S1 Teknik Sipil dan S2 Magister Manajemen diselesaikan di Universitas Krisnadwipayana serta S2 Magister Teknik Industri di Universitas Mercubuana Jakarta. Saat ini penulis kembali studi melanjutkan pendidikan S2 Magister Hukum di Universitas Krisnadwipayana.

Selama menjadi dosen sudah banyak jurnal penelitian dan buku yang dihasilkannya, diantaranya adalah *Perancangan Model Analisis Sistem Pendukung Keputusan Untuk Evaluasi Pencapaian Hasil Produksi Di Perusahaan Otomotif Di Jawa Barat (2022)*, *Penyuluhan Tentang Pentingnya Sebuah Konstruksi Bangunan Rumah Yang Baik Serta Tahan Gempa (2022)*, *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Bore Pile Pada Proyek Gedung STT Wastukencana (2022)*, *Analisis Tebal Perkerasan Lentur Pada Jalan Tol Akses Menuju Bandara Internasional Kertajati (2022)*, *Analysis Of Compressive Strength Of Concrete By Using Slag Circum As A Concrete Aggregate Mix (2022)*, *Effect Of Receivable Turnover on Company Profitability with Return on Assets As Moderation Variables*, *Analisis Pengaruh Penggunaan Cangkang Telur Bebek Ras Petelur Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton (2021)*,

Perencanaan Struktur Bangunan Atas (Upper Structure) Gedung STIE Bank BPD Jateng Kota Semarang (2021), Pengukuran Kinerja Perusahaan PT. Ritra Cargo Indonesia Menggunakan Balanced Scorecard (2016).

Sementara selama menjadi Kepala Laboratorium Arsitek, Teknik Sipil & Perencanaan Wilayah Perkotaan Universitas Krisnadwipayana, penulis mendampingi proses praktikum Ilmu Ukur Tanah, Mekanika Tanah, Beton, Pengerasan Jalan Raya & Aspal, Komputer, Hidrolika.

Hingga kini penulis aktif bergabung dalam organisasi profesi yaitu *Ikatan Quantity Surveyor Indonesia* dan *Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia*.

Penulis juga pernah terlibat dalam pembangunan proyek diantaranya adalah Hotel Marrior Likupang Manado, Hotel Labersa & Wahana Water Park Balige Sumatera Utara, Kota Kasablanka Jakarta Selatan, Proyek Infrastruktur & Perumahan.