

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi di Indonesia yang signifikan membawa konsekuensi terhadap pendapatan per kapita dalam jumlah besar. Dalam keadaan ini yang mengakibatkan meningkatnya pembangunan infrastruktur seperti gedung, jembatan, jalan, dan berbagai fasilitas publik lainnya yang banyak menggunakan bahan beton (Selvy Yasra, 2014). Penggunaan bahan limbah beton dapat menghemat sumber daya alam dan biaya sekitar 20 - 40 persen dibandingkan dengan pekerjaan konstruksi dengan bahan baru serta penggunaan bahan bangunan yang tepat, efisien, dan ramah lingkungan, dan perlu dilakukan pengembangan teknologi infrastruktur jalan dengan menggunakan daur ulang dengan memanfaatkan limbah beton sebagai agregat daur ulang (Sudarno, 2015).

Perkerasan jalan adalah suatu struktur perkerasan diletakan diatas tanah yang berfungsi untuk menampung beban lalu lintas yang melintasi diatasnya. Secara struktural lapisan perkerasan jalan harus dapat menerima dan meyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri Bila ditinjau dari bahan campurannya, perkerasan jalan terbagi menjadi tiga macam, yaitu Perkerasan lentur (flexible pavement), Perkerasan kaku (rigid pavement), Perkerasan gabungan (composite pavement) (Djoko Sulistiono, 2005).

Aspal merupakan bahan utama dalam konstruksi jalan, dan agregat kasar adalah komponen krusial dalam campuran aspal yang mempengaruhi kekuatan dan daya tahan aspal. Agregat kasar konvensional seringkali diperoleh dari

sumber daya alam yang terbatas, dan ekstraksi serta pengolahannya dapat menyebabkan dampak lingkungan negatif. Oleh karena itu, pencarian alternatif material yang dapat mengurangi ketergantungan pada agregat konvensional sambil mengurangi limbah konstruksi menjadi penting. Daur ulang limbah pecahan beton sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran aspal menawarkan potensi untuk memecahkan dua masalah sekaligus pengelolaan limbah dan pengurangan kebutuhan akan agregat alami. Meskipun ada penelitian tentang penggunaan limbah beton dalam beton bertulang, aplikasi dalam campuran aspal masih kurang dieksplorasi. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi bagaimana limbah pecahan beton dapat digunakan dalam campuran aspal tanpa mengorbankan kualitas dan performa material.

Daur ulang limbah beton dalam campuran aspal adalah salah satu bentuk pemanfaatan kembali material konstruksi yang sudah tidak terpakai, khususnya dari hasil demolisi bangunan (proses pembongkaran atau penghancuran bangunan, struktur, atau konstruksi lainnya secara terencana). Limbah beton ini diolah menjadi agregat daur ulang, yang kemudian digunakan dalam campuran aspal untuk konstruksi jalan. Ini termasuk dalam pendekatan ramah lingkungan dan berkelanjutan di bidang teknik sipil.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekurangan tersebut dengan menilai pengaruh substitusi agregat kasar dengan limbah pecahan beton terhadap karakteristik campuran aspal, seperti stabilitas, daya tahan, dan kekuatan tarik. Dengan hasil yang diperoleh, diharapkan dapat memberikan alternatif yang lebih berkelanjutan dan ekonomis dalam konstruksi jalan serta mendukung upaya

pengelolaan limbah yang lebih efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik fisik dari limbah pecahan beton yang diolah dan digunakan sebagai agregat kasar dalam campuran aspal?
2. Apa dampak pencampuran limbah beton sebagai pengganti agregat kasar berdasarkan parameter – parameter pengujian *marshall* ?
3. Sejauh mana proporsi limbah pecahan beton dalam campuran aspal dapat diterima tanpa mengorbankan performa dan daya tahan aspal?

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya akan fokus pada limbah pecahan beton dari demolisi (proses pembongkaran atau penghancuran bangunan, struktur, atau konstruksi lainnya) bangunan yang diolah menjadi ukuran agregat kasar yang sesuai untuk campuran aspal. Karakteristik fisik seperti ukuran butir, kepadatan, dan bentuk agregat akan dievaluasi menggunakan metode pengujian standar, tanpa mempertimbangkan limbah beton dari sumber lain atau bentuk pengolahan yang berbeda.
2. Substitusi agregat kasar dengan limbah pecahan beton dalam campuran aspal akan diuji pada proporsi yang ditetapkan, yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Penelitian ini tidak akan menguji proporsi di luar rentang tersebut atau mencakup variasi tambahan dalam komposisi campuran aspal.
3. Semua pengujian akan mengikuti standar yang berlaku, seperti ASTM (American Society for Testing and Materials) atau SNI 8158:2015, (Standar

Nasional Indonesia) untuk campuran aspal dan agregat kasar. Penelitian ini tidak akan menggunakan metode pengujian alternatif yang tidak diakui secara luas dalam industri.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengevaluasi karakteristik fisik dari limbah pecahan beton yang diolah, termasuk ukuran butir, kepadatan, dan bentuk, serta perbandingannya dengan agregat kasar konvensional yang digunakan dalam campuran aspal.
2. Untuk menentukan proporsi maksimum limbah pecahan beton yang dapat digunakan dalam campuran aspal tanpa mengorbankan performa dan kualitas aspal secara signifikan.
3. Untuk mengevaluasi berbagai proporsi persentase variasi campuran limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran aspal (0% limbah beton+100% agregat normal, 25% limbah beton+ 75% agregat normal, 50% limbah beton+50% agregat normal, 75% limbah beton+25% agregat normal, dan 100% limbah beton+0% agregat normal).

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini memberikan solusi praktis untuk mengelola limbah pecahan beton yang dihasilkan dari demolisi bangunan dengan mendaur ulangnya menjadi agregat kasar untuk campuran aspal. Hal ini dapat membantu mengurangi volume limbah yang harus dibuang ke tempat pembuangan akhir dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.
2. Dengan mengidentifikasi potensi limbah pecahan beton sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran aspal, penelitian ini menyediakan alternatif

material yang dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas. Ini juga dapat membantu mengurangi biaya material dalam konstruksi jalan.

3. Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi tentang bagaimana limbah pecahan beton mempengaruhi kualitas campuran aspal, termasuk stabilitas, aliran, dan kekuatan tarik. Temuan ini dapat membantu dalam perancangan campuran aspal yang lebih efisien dan berkualitas tinggi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian adalah ini secara garis besar dibagi menjadi 5 (lima) bab, adalah sebagai berikut:

1. BAB I Pendahuluan

Pada bab ini membahas latar belakang masalah, identifikasi masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

2. BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini membahas tentang teori dari berbagai literatur mengenai spektrum respon desain, serta peraturan-peraturan yang berkaitan pada SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.

3. BAB III Metodologi Penelitian

Pada bab ini membahas tahapan penelitian

4. BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini membahas hasil dari penelitian yang dilakukan.

5. BAB V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini membahas mengenai kesimpulan dari bab-bab sebelumnya serta saran-saran yang berguna bagi pengembangan dan penyempurnaan analisis selanjutnya sesuai dengan keterkaitanya dengan tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kontruksi Jalan Raya

Perkerasan jalan raya merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam memenuhi kelancaran pergerakan lalu lintas. Perkerasan jalan yang digunakan pada umumnya terdiri atas tiga jenis yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku dan perkerasan komposit. Diantara ketiga jenis perkerasan tersebut yang paling dominan di gunakan adalah jenis perkerasan lentur (*Flexible Pavement*).

Flexible Pavement atau perkerasan lentur adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari beberapa lapisan material, yang secara bersama-sama menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar (subgrade). Disebut "lentur" karena struktur ini tidak kaku, dan mampu menyesuaikan diri terhadap deformasi kecil dari tanah dasar tanpa retak seperti pada perkerasan kaku (rigid pavement/beton).

Untuk menunjang fungsinya sebagai kontruksi jalan maka perkerasan jalan raya dibuat berlapis - lapis agar mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai.

Lapis perkerasan lentur itu terdiri dari beberapa lapisan yaitu :

- Lapis Permukaan (*surface course*)

Lapisan Permukaan adalah lapisan paling atas jalan atau lapisan aus (*Wearing Course*) yang berfungsi untuk menahan beban roda kendaraan dan melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca yang buruk, material yang biasa digunakan pada lapisan ini berupa agregat berkualitas tinggi yang tahan aus dan kuat, aspal sebagai bahan pengikat dan filler untuk mengisi celah antar agregat

- Lapisan Pengikat (*Binder course*)

Lapisan pengikat adalah lapisan tipis yang terletak diantara *surface course* dan *base course*. Lapisan ini berfungsi sebagai pengikat antara lapisan permukaan terhadap lapisan pondasi. Material yang digunakan pada lapisan ini berupa campuran agregat kasar dan halus, serta aspal dengan kualitas dan kadar yang sesuai (biasanya sedikit lebih rendah dari *surface course*)

- Lapis Pondasi (*Base Course*)

Lapisan Pondasi adalah lapisan yang terletak diantara lapis paling atas dan lapisan pondasi bawah atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah. Lapisan pondasi berfungsi sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda kendaraan dan sebagai perletakan terhadap lapis permukaan, material yang digunakan pada lapisan ini adalah agregat kasar seperti batu pecah, kerikil yang sudah memenuhi spesifikasi kekuatan dan gradasi, agregat halus sebagai pengisi celah, dan semen, kapur atau aspal sebagai bahan pengikat.

- Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

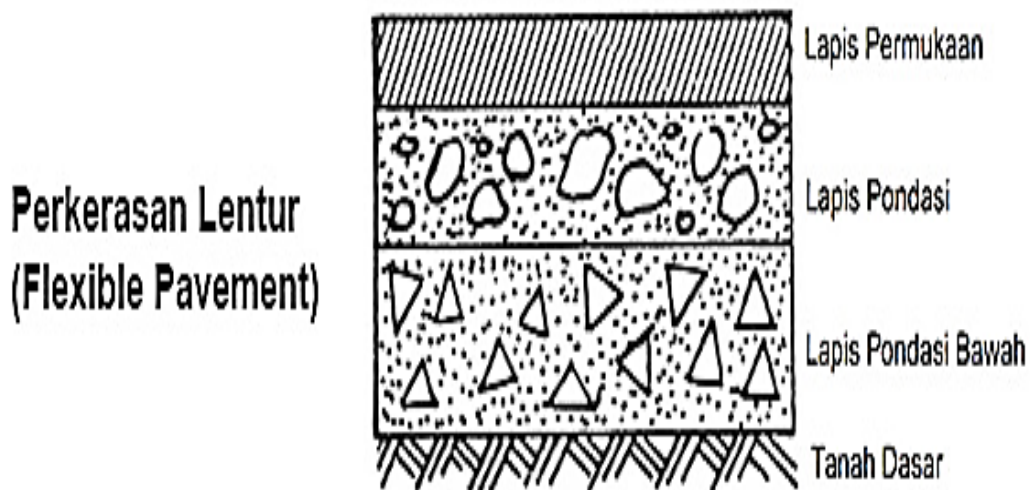
Lapis Pondasi Bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Fungsi lapis pondasi bawah sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda kendaraan, Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi, material yang digunakan pada lapisan ini adalah granular yang relatif kasar dan memiliki permeabilitas baik bisa berupa kerikil dan pasir kasar.

- Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Tanah Dasar adalah permukaan tanah yang di padatkan dengan kedalaman tertentu

umum nya berfungsi sebagai permukaan galian atau permukaan timbunan, yang dipadatkan 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. Pada lapisan ini digunakan tanah alami ataupun tanah yang sudah dipadatkan dan distabilkan, emakin bagus kualitas tanah dasar maka semakin bagus daya dukung tanah terhadap beban roda kendaraan.

Semua lapis perkerasan tersebut memiliki spesifikasi tersendiri untuk menunjang fungsinya masing-masing sebagai lapis perkerasan jalan (Suprpto,2004).



Gambar 2.1 Susunan Perkerasan Lentur Jalan Raya
Sumber : (Suprpto, 2004)

2.2 Lapisan Aspal Beton (Laston)

Lapisan aspal beton laston merupakan salah satu jenis lapisan aspal yang ada di Indonesia. lapisan aspal beton (laston) atau dikenal dengan nama *Asphalt Concrete* (AC-WC), yaitu lapisan paling atas jalan, aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat. Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas (Waani,2013).

Lapis aspal beton (Laston) merupakan salah satu lapisan struktur Jalan raya yang terdiri atas gabungan agregat dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Agar mendapatkan mutu pekerjaan yang baik, sesuai dengan spesifikasi, dalam hal ini Lapisan Aspal Beton (Laston) mampu melayani arus lalu lintas yang melewatinya. (Sukirman 2012).

Menurut Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Beton aspal dengan campuran gradasi menerus memiliki komposisi dari agregat kasar, agregat halus, mineral pengisi (*filler*) dan aspal (*bitumen*) sebagai pengikat. Ciri lainnya memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya, oleh karena itu beton aspal memiliki sifat stabilitas tinggi. Berdasarkan fungsinya aspal beton laston pada campuran beraspal panas dapat diklasifikasikan sebagai berikut : (Sukirman, 2003)

1. *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) adalah lapis permukaan (lapis aus). yang berfungsi Sebagai pendukung beban Lalu lintas, pelindung dari

kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca dan Kedap air dan mempunyai nilai struktural yang tinggi

2. *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) adalah lapisan antara *Asphalt Concrete-Wearing Course* dengan *Asphalt Concrete-Base* yang berfungsi untuk mendistribusikan beban lalu lintas dan memberikan stabilitas pada perkerasan jalan..
3. *Asphalt Concrete-Base* (AC-Base) adalah lapis pondasi, biasanya dipergunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan.

Berdasarkan spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2018, setiap jenis lapisan memiliki ketebalan tersendiri yang ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Tebal Nominal Minimum Campuran Aspal Laston

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
Laston	Lapis Aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis Pondasi	AC-BASE	7,5

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2018

Selain itu Bina Marga 2018 juga memberikan ketentuan sifat-sifat campuran beraspal panas untuk lapisan aspal laston (AC) bergradasi kasar dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus (WC)	Lapis Antara (BC)	Pondasi (Base)
Penyerapan Aspal (%)	Maks	1,2		
Jumlah Tumbukan per bidang		75	112	
Rongga Dalam Campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (Kg)	Min	800		1800 ⁽¹⁾
	Maks	-		-
Kelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Marshall Quotient (Kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas Marshall sisa (%) Setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min	90		
Rongga Dalam campuran (%) Kepadatan membal (refusal)	Min	2		

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2018

2.3 Aspal

Aspal merupakan material berwarna hitam atau coklat, pada temperature ruang bentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai temperature suhu tertentu, aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat dimasukan kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam atau peleburan. Jika temperature mulai turun maka aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis) (Silvia Sukirman, 1999).

Umumnya aspal dapat dihasilkan dari penyulingan minyak bumi yang disebut aspal keras. Pada proses penyulingan tingkat pengontrolan yang dilakukan akan menghasilkan aspal dengan sifat-sifat yang khusus yang cocok untuk pemakaian pembuatan campuran beraspal, pelindung atap dan penggunaan khusus lainnya dan disamping itu pula mulai banyak juga dipergunakan aspal alam yang berasal dari Pulau Buton.



Gambar 2.2 Aspal Hasil Penyulingan Minyak
Sumber : Laboratorium Jalan Raya UISU (2024)

2.3.1 Kandungan Aspal

Aspal merupakan unsur hidokarbon yang sangat kompleks, sangat sukar untuk memisahkan molekul-molekul yang membentuk aspal tersebut. Disamping itu setiap sumber dari minyak bumi menghasilkan komposisi molekul yang berbeda. Komposisi aspal terdiri dari *asphaltenes* dan *metanes*.

1. *Asphalthenes* adalah unsur kimia aspal yang padat, yang tidak larut dalam heptane. *Asphalthenes* berwarna coklat sampai hitam yang mengandung karbon dan hydrogen.
2. *Maltenes* larut dalam *heptane*, merupakan cairan kental yang terdiri dari resin dan oils. Resin merupakan cairan kental yang berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi dari aspal yang merupakan bagian yang mudah hilang atau berkurang selama masa pelayanan jalan atau berkurang selama masa pelayanan jalan (Sukirman, 1999).

2.3.2 Jenis Aspal

Aspal yang digunakan sebagai bahan perkerasan jalan terdiri dari aspal alam dan aspal buatan, berikut ini jenis-jenis aspal dalam perkerasan jalan :

1. Aspal Alam

Aspal Alam Merupakan aspal yang berasal dari proses alamiah, terdiri dari aspal danau (aspal dari Bermudez, Trinidad) dan aspal gunung (aspal dari pulau Buton).

2. Aspal Buatan

Aspal Buatan dibuat dari minyak bumi, sebagai bahan baku pada umumnya minyak bumi yang banyak mengandung aspal dan sedikit paraffin. Aspal buatan terdiri dari

aspal minyak, dan ter.

Aspal Keras (*Asphalt Cement*), jenis aspal minyak yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan hampa udara, yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat. Aspal keras dikelompokkan berdasarkan kekerasan yang disebut penetrasi. Adapun jenis aspal berdasarkan nilai penetrasinya adalah sebagai berikut:

1. Aspal penetrasi 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40 -50.
2. Aspal penetrasi 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60 -70.
3. Aspal penetrasi 80/100, yaitu AC dengan penetrasi antara 80 -100.
4. Aspal penetrasi 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120 -150.
5. Aspal penetrasi 200/300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200 -300.

Di Indonesia umumnya digunakan Aspal dengan penetrasi 60/70. Berikut ini adalah Tabel 2.3 yang berisi spesifikasi dari aspal keras penetrasi 60/70 sesuai aturan binamarga 2018

Tabel 2.3 Ketentuan Aspal Penetrasi 60-70

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456-2011	60-70
2	Viskositas kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥300
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434-2011	≥48
4	Daktilitas pada 25 °C;(cm)	SNI 2432-2011	≥100
5	Titik nyala (°C)	SNI 2433-2011	≥232
6	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥99
7	Berat Jenis	SNI 2441-2011	≥1,0
8	Stabilitas Penyimpanan : perbedan titik lembek (°C)	ASTM D 5976-00 part 6.1 dan SNI 2434-2011	-

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2018

2.3.3 Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan yang berfungsi sebagai berikut:

1. Sebagai bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat.
2. Sebagai bahan pengisi, mengisi rongga antara butir agregat dan pori-pori yang ada didalam butir agregat itu sendiri.
3. Sebagai pelindung dari kerusakan akibat genangan air dan cuaca
4. Tahan terhadap kerusakan beban lalu lintas dan kedap air

2.4 Beton

Beton merupakan ikatan dari material pembentuk yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus). Bahan air dan semen disatukan akan membentuk pasta semen, dan berfungsi sebagai bahan pengikat, sedangkan agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi. Agregat halus berfungsi sebagai pengisi rongga antara agregat kasar. Bahan dipilih sesuai dengan ketentuan yang ada, dicampur dengan perbandingan tertentu dan digunakan sedemikian rupa untuk menghasilkan beton yang diinginkan. Kualitas pemilihan dari bahan akan mempengaruhi beton, karena terdapat banyak faktor yang menuntut dari beton, yaitu dari segi bentuk, kualitas dan mutu dari beton yang dihasilkan serta diperlukan juga pencampuran yang merata. Pencampuran bahan-bahan yang merata akan bersifat homogen yaitu saling mengikat dan mengisi antara semua bahan pada waktu dilaksanakan pengecoran dan percetakan beton.

2.4.1 Limbah Beton

Limbah beton adalah sisa material beton yang tidak terpakai atau hasil dari pembongkaran konstruksi yang menggunakan beton. Limbah ini dapat berupa pecahan beton, sisa campuran beton segar yang tidak terpakai, maupun debu beton dari proses pemotongan atau penghalusan beton. Limbah beton termasuk dalam kategori limbah konstruksi dan pembongkaran, Limbah beton yang sudah dihancurkan atau diolah ulang dapat digunakan kembali dalam berbagai aplikasi, terutama dalam bidang konstruksi. Berikut adalah beberapa penggunaan limbah beton:

1. Sebagai agregat daur ulang
2. Material perkerasan jalan
3. Bahan bangunan alternatif
4. Pekerjaan reklamasi dan pengurugan
5. Konstruksi pelindung pantai dan sungai
6. Penelitian dan pengembangan material.



Gambar 2.3 : Pecahan limbah beton dengan mutu K-250
Sumber: kantor kejaksaan sei rampah

2.5 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain berupa hasil alam atau buatan berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran

beton dan aspal. Menurut ukurannya agregat terbagi dua yaitu agregat kasar dan agregat halus.

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. (Harold N. Atkins, PE 1997).

Selain itu agregat juga dibagi berdasarkan ukuran butirannya menurut Bina Marga Tahun 2018 yaitu :

1. Agregat Kasar yaitu yang tertahan saringan No. 4 (4,75mm)
2. Agregat halus yaitu yang lolos saringan No.4 (4,75mm) dan tertahan saringan No.200
3. Bahan pengisi atau *filler* termasuk agregat halus yang sebagian besar lolos saringan No.200.

2.5.1 Agregat Kasar

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2018 Agregat kasar untuk rancangan campuran Lapisan Aspal Laston (AC-WC) adalah Agregat yang lolos saringan No. $\frac{3}{4}$ (19 mm) dan tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara kering dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan sesuai dengan ketentuan yang di syaratkan. Adapun ketentuan agregat kasar sesuai Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407-2008	Maks.12%
	Magnesium sulfat		Maks.18%
Abrasi dengan mesin los Angeles	Campuran AC	100 putaran	Maks 6%
	Modifikasi dan SMA	500 putaran	Maks. 30%
		Semua jenis campuran	100 putaran
	Beraspal bergradasi lainnya	500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439-2011	Min.95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619-2012	100/90 ^{*)}
	Lainnya		95/90 ^{**)}
Partikel Pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan	Maks 5%
	Lainnya	1 : 5	Maks 10%
Material lolos Ayakan N0.200		SNI ASTM C117-2012	Maks 1%

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2018



Gambar 2.4 : Agregat Kasar (Batu Pecah,Krikil)
Sumber : Laboratorium Jalan Raya UISU (2024)

2.5.2 Agregat Halus

Menurut persyaratan Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2018, agregat halus dari sumber bahan manapun harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm) dan tertahan di saringan No.200 (0,075 mm). Selain itu agregat halus harus merupakan bahan yang bersih,keras,bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Komposisi agregat halus yang ideal dipakai di Indonesia berdasarkan Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat lolos ayakan No 200	SNI ASTM C117:2012	Maks 10%

Sumber : *Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2018*



Gambar 2.5 : Agregat Halus (Pasir)
 Sumber : Laboratorium Jalan Raya UISU (2024)

2.5.3 Bahan Pengisi Filler

Bahan pengisi filler terdiri dari batu kapur, debu dolomite, semen portland, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahkan mineral tidak plastis

lainnya. Bahan pengisi mikro agregat ini harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm) (Koçkal & Köfteci, 2016). Fungsi bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperature (Mohammadi et al., 2014).

Adapun ketentuan filler pada campuran aspal beton menurut Bina Marga 2018 adalah :

1. Bahan pengisi yang ditambahkan terdiri atas debu batu kapur (*limestone dust*), kapur padam (*hydrated lime*), semen atau abu terbang yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan.
2. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (*75 micro*) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.
3. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan tidak kurang dari 1% dan maksimum 2% dari berat total agregat.

Tabel 2.6 Ketentuan Filler

Pengujian	Standar	Nilai
Material lolos saringan No.200	SNI 03-6723-2002	Min 75%

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2018

2.5.4 Gradasi Agregat

Ukuran butiran agregat dan persentase berat dari setiap jenis agregat yang diperlukan, ditentukan dalam persyaratan teknisnya. Menurut Sukirman (2003), gradasi adalah susunan butiran agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat akan

dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Gradasi agregat terdiri dari gradasi agregat Seragam, gradasi agregat rapat dan gradasi agregat senja

Berdasarkan spesifikasi umum yang dikeluarkan oleh Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga tahun 2018, gradasi agregat untuk campuran aspal beton Laston benda-benda sesuai dengan jenis perkerasannya. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan. Gradasi Agregat untuk campuran aspal selengkapnya dapat di lihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal

No Saringan	Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran		
		Laston (AC)		
		WC	BC	Base
No. 1 1/2	37,5			100
No. 1	25		100	90-100
No. 3/4"	19	100	90-100	76-90
No. 1/2"	12,5	90-100	75-90	60-78
No. 3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	53-69	46-64	33-54
No. 8	2,36	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	21-40	18-38	13-30
No. 30	0,600	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,300	9-22	7-20	6-15
No. 100	0,150	6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2018

2.6 Air

Air adalah suatu zat cair yang tidak mempunyai rasa, bau dan warna dan terdiri dari hydrogen dan oksigen dengan rumus kimia H₂O. Air dapat berupa air tawar dan air asin (Air Laut). Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki perairan terbanyak di dunia. Di dalam lingkungan alam Proses Perubahan wujud, gerakan aliran air (di permukaan tanah, di dalam tanah dan di udara) dan sejenis air mengikuti suatu siklus keseimbangan dan dikenal dengan istilah siklus hidrologi (Kodoatie dan Sjarif 2010).

2.7 Suhu atau temperatur

Aspal mempunyai kepekaan terhadap perubahan suhu / temperatur, karena aspal adalah material yang termoplastis. Aspal akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau cair bila temperatur bertambah. Setiap jenis aspal mempunyai kepekaan terhadap temperatur berbeda- beda, karena kepekaan tersebut dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspalnya, walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Pemeriksaan sifat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur perlu dilakukan sehingga diperoleh informasi tentang rentang temperatur yang baik untuk pelaksanaan pekerjaan. Pada Tabel 2.8 ini memperlihatkan nilai viskositas aspal dan batasan suhu selama pencampuran ,penghamparan, dan pemadatan pada proses pelaksanaan pekerjaan perkerasan jalan.

Tabel 2.8 Ketetapan Viskositas dan Temperatur Aspal untuk Pencampuran dan Pematatan

No	Preosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal (P.A.S)	Suhu Campuran (°C) Pen 60/70
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,2	155 ± 1
2	Pematatan benda uji Marshall	0,4	140 ± 1
3	Pencampuran rentang temperatur sasaran	0,2 – 0,5	145 – 155
4	Menuangkan campuran dari AMP ke dalam truk	± 0,5	135 – 150
5	Pasokan ke alat penghamparan (<i>paver</i>)	0,5 – 1,0	130 – 150
6	Penggilasan awal (roda baja)	1 – 2	125 – 145
7	Penggilasan kedua (roda karet)	2 – 20	100 – 125
8	Penggilasan akhir (roda baja)	< 20	> 95

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2018

2.8 Karakteristik Campuran Beraspal

Tujuan karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan (*workability*). Karakteristik campuran aspal panas Laston yang harus dimiliki adalah:

1. Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut.

Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang maka kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Hal ini menghasilkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitas menjadi rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel, dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

2. Durabilitas (Keawetan/Daya Tahan)

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air, dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah: (Bina Marga 2018)

- 1) VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).
- 2) VMA besar sehingga film (selimut) aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar, untuk mencapai VMA yang besar ini digunakan agregat bergradasi senjang.
- 3) Film (selimut) aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang durabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi besar.

3. Fleksibilitas (Kelenturan)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan: (Bina Marga 2018)

- 1) Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
- 2) Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
- 3) Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.

4. Kekesatan (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan (basah) maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan. Tingginya nilai tahanan geser ini dipengaruhi oleh:

- 1) Penggunaan agregat dengan permukaan kasar.
- 2) Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.
- 3) Penggunaan agregat kasar yang cukup.

5. Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah: (Bina Marga 2010)

- 1) VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan

yang lebih cepat.

- 2) VMA dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

6. Kedap Air

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. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. *Workability* ini dipengaruhi oleh gradasi agregat. Agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi lain.

2.9 Rancangan Campuran Aspal (*Design Mix Formula*)

Rancangan campuran dilaksanakan setelah pemeriksaan apakah agregat dan aspal yang akan dipergunakan memenuhi spesifikasi material campuran. Di Indonesia terdapat dua metode rancangan campuran, yaitu metode Marshall yang dikembangkan oleh *The Asphalt Institute* dan Metode CQCMU yang dikembangkan di Indonesia mengacu pada British Standard (Sukirman,2007)

1. Metode Marshall

Rancangan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76 atau AASHTO T-245-90. Langkah-langkah

kerja campuran metode Marshall (Sukirman,2007) adalah :

- a. Mempelajari spesifikasi gradasi agregat campuran yang diinginkan dari spesifikasi campuran pekerjaan.
- b. Merancang proporsi dari masing-masing agregat yang tersedia untuk mendapatkan agregat campuran dengan gradasi sesuai butir.
- c. Menentukan kadar aspal total dalam campuran.
- d. Membuat benda uji atau briket beton aspal
- e. Melakukan uji Marshall untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) benda uji.
- f. Menghitung parameter Marshall yaitu VIM, VMA, VFA, berat volume campuran, dan parameter lain sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran.
- g. Menggambarkan hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall setelah itu didapatkan nilai kadar aspal optimum.
- h. Membuat *Job Mix Formula*.

2. Metode CQCMU (*Central Quality Control and Monitoring Unit*)

Perencanaan campuran awal di laboratorium berdasarkan metode CQCMU dikembangkan dari BS 594 oleh CP Corne pada awal tahun 1980 di Indonesia.

Metode ini kemudian dikembangkan oleh *Central Quality Control and Monitoring Unit (CQCMU)*, Bina Marga sehingga lebih dikenal sebagai metode CQCMU.

Langkah-langkah kerja campuran metode CQCMU adalah sebagai berikut (Sukirman,2007) :

- a. Pemilihan agregat dan penentuan sifat yang harus sesuai spesifikasi material.

- b. Penentuan kadar aspal total.
- c. Penentuan campuran nominal berdasarkan sifat dan kadar aspal efektif yang ditentukan dalam spesifikasi.
- d. Pembuatan benda uji
- e. Pengujian Marshall
- f. Perhitungan parameter Marshall
- g. Penggambaran hubungan proporsi agregat kasar dan parameter Marshall.
- h. Diperoleh proporsi agregat kasar dan ratio pasir/abu batu terbaik lalu pembuatan benda uji lagi untuk ratio pasir/abu batu terbaik dengan kadar aspal $a\%$, $a \pm 1\%$ dan $a \pm 2\%$. Lalu dilanjutkan pengujian Marshall.
- i. Perhitungan parameter Marshall lalu digambar hubungan antara kadar aspal optimum dan parameter Marshall sehingga diperoleh kadar aspal optimum.
- j. Pembuatan Job Mix Formula

Perbedaan mendasar antara metode Marshall dan metode CQCMU dapat dilihat pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 Perbedaan metode Marshall dan metode CQCMU

No	Metode Marshall	Metode CQCMU
1	Untuk beton aspal bergradasi baik	Untuk beton aspal bergradasi senjang
2	Dimulai dari gradasi yang dipilih Kadar aspal ditentukan	Dimulai dari rancangan campuran nominal. Menentukan proposi agregat kasar dan halus
3	Berdasarkan sifat campuran yang diinginkan.	Ratio pasir dan abu batu.

Sumber : sukirman,2007

Dalam mendapatkan campuran aspal beton yang baik maka harus diperhatikan

penggabungan agregatnya. Penggabungan agregat tersebut sangat berpengaruh pada resep komposisi campuran agar didapatkan suatu campuran yang homogeny dan butir agregat yang sesuai standar spesifikasi. Baik metode Marshall ataupun CQCMU dapat menggunakan ke empat alternative metode penggabungan seperti berikut ini (Muqarramah,20120) :

a. Cara *Trial* dan *Eror*

Prinsip kerja dari metode ini adalah :

1. Memahami batas gradasi yang disyaratkan.
2. Memasukkan data spesifikasi gradasi pada kolom spesifikasi unit.
3. Memasukkan presentase lolos saringan, masing-masing jenis batuan kedalam presentase *passing*.
4. Memasukkan spesifikasi ideal pada kolom *target value*, yaitu nilai salah satu dari spesifikasi ideal yang disyaratkan.
5. Mengambil dari salah satu spesifikasi ideal dengan jenis yang ada, dalam hal ini agregat kasar, ssedangkan yang halus kemudian dicampur ketiganya dengan jumlah 100% dan nilai gabungannya mendekati nilai spesifikasi ideal yang kita ambil tadi.
6. Jika sudah mendekati salah satu nilai spesifikasi ideal dari ketiga agregat tadi, yang lain dihitungkan atau combined dengan presentase yang sama.

Sehingga dapat digunakan sebagai gradasi untuk campuran aspal panas sebagai perkerasan jalan.

b. Cara Diagonal

Prinsip kerja dari metode ini adalah :

1. Mengetahui gradasi yang diminta
2. Buat gambar persegi panjang, ukuran (10x20 cm) pada kertas millimeter block.
3. Buat garis diagonal dari sisi kiri bawah sisi kanan atas. Sisi vertical (10 cm) merupakan persen lolos saringan. Dengan melihat spesifikasi ideal, letakkan tiap-tiap nilai spesifikasi ideal pada garis tiap-tiap yang diwujudkan berupa titik. Dari titik-titik pada diagonal tersebut ditarik garis vertical untuk tempat menuliskan nomor-nomor saringan. Dengan menggunakan grafik persen lolos saringan masing-masing fraksi batuan dua dapat dilihat dengan jarak antara fraksi 2 terhadap garis garis tepi bawah dan atas jarak antara grafik 1 terhadap garis tepi atas yang mana merupakan garis lurus. Pada kedua jarak itu tariklah garis vertical yang memotong garis diagonal pada satu titik. Dari titik potongan tersebut, Tarik garis mendatar ke kanan sampai memotong garis tepi empat persegi panjang pada bagian sebelah kanan sehingga diperoleh titik yang merupakan titik persen agregat 2 yang diperlukan. Buatlah garis potong dengan jarak sama antara jarak terhadap agregat 3 (harus sama dengan jumlah jarak terhadap agregat 1 dan 2). Dari titik potong ini ditarik garis mendatar ke samping kanan, sehingga diperoleh titik dimana didapatkan persen agregat 1,2 dan 3 dengan demikian kita telah memperoleh agregat dalam bentuk % (1,2 dan 3). Dari presentase ini, fraksi-fraksi yang diperoleh dapat dihitung (sehingga memenuhi syarat) atau dengan spesifikasi yang dipakai.

c. Cara Grafis (Bujur Sangkar)

Prinsip kerja dari metode ini adalah :

1. Buat kotak dengan ukuran bujur sangkar (10x10) cm sebanyak dua buah.
2. Untuk sisi kiri merupakan persen agregat kasar. Plot pada garis paling tepi titik-titik dari masing-masing nomor saringan untuk agregat sedang. Gabungan masing-masing titik atau nomor saringan yang sama. Pada garis-garis penghubung tersebut ditentukan batas spesifikasi. Tentukan batas maksimum dan minimum yang paling dekat terhadap garis agregat kasar dan agregat sedang yang paling dekat. Dari batas maksimum dan minimum tersebut ditarik garis vertical. Tarik yang membagi membatasi dua daerah maksimum dan minimum sehingga dari garis ini dapat ditentukan presentase agregat kasar dan halus. Pada bujur sangkar yang ke dua garis mendatar untuk memindahkan nomor-nomor saringan. Pada garis sisi kanan sebagai agregat halus, tentukan titik-titik pada garis tersebut sesuai dengan ukuran saringan. Hubungkan kedua titik pada garis agregat kasar dan agregat halus serta agregat sedang. Cari harga maksimum dan minimum yang mempunyai jarak terdekat. Tarik garis vertical dari masing-masing titik maksimum dan minimum tersebut. Tarik garis pembagi dua, sehingga dapat ditentukan presentase agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus.

d. Cara Analitis

Prinsip kerja dari metode ini adalah :

1. Tentukan gradasi agregat yang digunakan
2. Tentukan campuran agregat dan filler. Hitung butiran agregat yang lewat saringan sesuai gradasi lapisan dengan mengalikan presentase agregat.

3. Tentukan spesifikasi ideal terhadap butiran yang lewat saringan nomor 200. Hitung kekurangan butiran yang lewat saringan nomor 200 dengan mengurangi spesifikasi ideal dengan total butiran yang lewat saringan No.200.
4. Tentukan komposisi campuran.

2.10 Pengujian Marshall

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall, dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh U.S *Corps Engineer* (Sukirman,2007).

Pengujian Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (=5000lbf) dengan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastik atau flow. Alat uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci (10,2 cm) dan tinggi 2,5 (6,35 cm). Menurut sukirman tahun 2007, secara umum pengujian Marshall meliputi enam butir pengujian :

1. Pengujian nilai stabilitas, yaitu kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis.
2. Pengujian kelelahan (*flow*) yaitu besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
3. Perhitungan *Marshall Quotient* yaitu perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*.
4. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat
 - a. Volume pori dalam beton aspal padat (VIM)

- b. Volume pori dalam agregat campuran (VMA)
- c. Rongga udara yang terisi aspal *Voids Filled with Bitumen* (VFB)

2.11 Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal kadar aspal optimum dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan penggabungan pada tiga fraksi agregat. Sedangkan perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA + 0,18(\%FF) + K \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

P_b : Perkiraan kadar aspal optimum

CA : Nilai prosentase agregat kasar

FA : Nilai prosentase agregat halus

FF : Nilai Prosentase *Filler*

K : Konstanta (kira-kira 0,5-1,0)

Hasil perhitungan P_b dibulatkan ke 0,5% keatas terdekat.

2.12 Berat Jenis Bulk dan Apparent Total Agregat

Agregat total terdiri dari fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/filler yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (bulk specific gravity) dan berat jenis semu (apparent grafity). Setelah didapatkan kedua macam berat jenis pada masing-masing agregat pada pengujian material agregat maka berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut :

1. Berat jenis kering (bulk specific gravity) dari total agregat

$$G_{Sbto} \text{ agregat} = \frac{P_1+P_2+P_3...+P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

G_{Sbto} agregat :Berat jenis kering agregat gabungan (gr/cc)

$G_{sb1}, G_{sb2}, \dots, G_{sbn}$:Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1,2,3...n,(gr/cc)

P_1, P_2, P_3, \dots :Prosentase berat dari masing-masing agregat (%)

2. Berat jenis semu (apparent specific gravity) dari total agregat

$$G_{Satot} \text{ agregat} = \frac{P_1+P_2+P_3...+P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

G_{Satot} agregat : Berat jenis semu agregat gabungan,(gr/cc)

$G_{sa1}, G_{sa2}, \dots, G_{san}$: Berat jenis semu dari masing-masing agregat
1,2,3...n,(gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

2.13 Berat Jenis Efektifitas Agregat

Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran (G_{se}), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

$$G_{Setot} \text{ agregat} = \frac{p_{mm} - p_b}{\frac{p_{mm}}{G_{mm}} + \frac{p_b}{G_b}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

G_{se} : Berat jenis efektif/ *efektive specific gravity*,(gr/cc)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan

(gr,cc)

Pmm : Persen berat total campuran (=100)

Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran,(%)

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

Gb : Berat jenis aspal

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan juga dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

Gse : Berat jenis efektif/*efektive spesific gravity*,(gr/cc)

Gsb : Berat jenis kering agregat/*bulk spesific gravity*,(gr/cc)

Gsa : Berat jenis semu agregat/*apparent spesific gravity*,(gr/cc)

2.14 Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, Gmm pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T.209-90. Ketelitian hasil uji terbaik

adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat).

Selanjutnya Berat jenis Maksimum (Gmm) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (Gse) rata-rata sebagai berikut :

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

Gmm : Berat jenis maksimum campuran,(gr/cc)

Pmm : Persen berat total campuran (=100)

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

Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran,(%)

Gse : Berat jenis efektif/*efektive spesific gravity*,(gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal,(gr/cc)

2.15 Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Perhitungan berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (Gmb) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut :

$$Gmb = \frac{Wa}{V_{bulk}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

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

V_{bulk} : Volume campuran setelah pemadatan,(cc)

Wa : Berat di udara,(gr)

2.16 Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total,tidak terhadap berat campuran.Perhitungan penyerapan aspal (Pba) adalah sebagi berikut :

$$Pba = 100 - \frac{Gse - Gsb}{Gse \times Gsb} Gb \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

Pba : Penyerapan aspal, persen total agregat (%)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat,(gr/cc)

Gse : Berat jenis efektif agregat,(gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal,(gr/cc)

2.17 Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (Pbe) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan

menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus Kadar aspal efektif adalah : dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus Kadar aspal efektif adalah :

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

P_{be} : Kadar aspal efektif, persen total campuran,(%)

P_b : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

P_{ba} : Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)

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

2.18 Rongga di antara mineral agregat *void in the Mineral Agregat (VMA)*

Rongga antara mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis bulk (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang di padatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran adalah dengan rumus berikut:

- 1) Terhadap Berat Campuran Total

$$V_{ma} = 100 - \left[\frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right] \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume Total (%).

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

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

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

2) Terhadap Berat Agregat Total

$$V_{MA} = 100 - \left[\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100+P_b)} \times 100 \right] \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

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

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

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Pb : Kadar aspal, persen tota campuran, (%)

2.19 Rongga didalam campuran Void In The Compacted Mixture (VIM)

Rongga udara dalam campuran (Va) atau VIM dalam campuran persen beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume

rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$VIM = 100 - \left[\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right] \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

Vim : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)

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

Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

2.20 Rongga udara yang terisi aspal *Voids Filled with Bitumen* (VFB)

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus adalah sebagai berikut :

$$VFB = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

VFB : Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA, (%)

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

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%).

2.21 Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *Marshall*. Selain itu pada umumnya alat *Marshall* yang digunakan bersatuan Lbf (pound force), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

2.22 Flow

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti di atas Nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum dial *flow* biasanya sudah dalam satuan mm (millimeter), sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

2.23 Hasil Bagi Marshall *Marshall Quotient* (MQ)

Hasil bagi Marshall *Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelahan. Sifat Marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

MQ : *Marshall Quotient, (kg/mm)*

MS : *Marshall Stability, (kg)*

MF : *Flow Marshall, (mm)*