

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Secara umum rencana campuran Aspal beton ( laston) adalah untuk menetapkan suatu penggabungan gradasi agregat yang paling ekonomis dan bitumen yang akan menghasilkan campuran yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Aspal yang digunakan cukup untuk menjamin keawetan perkerasan
- b. Stabilitas yang dihasilkan cukup memadai sehingga memenuhi kebutuhan lalu-lintas dalam menahan kerusakan yang mungkin terjadi
- c. Kandungan rongga dalam campuran cukup memadai sehingga masih memungkinkan adanya sedikit pemadatan akibat beban lalu-lintas tanpa menyebabkan bleeding dan hilangnya stabilitas. Namun cukup rendah untuk mencegah masuknya udara dan kelembapan yang dapat menyebabkan kerusakan
- d. Penghamparan dapat dilaksanakan secara efisien tanpa mengalami segregasi (pemisahan)

#### 2.2 Agregat

Agregat adalah suatu mineral keras dan baku yang digunakan sebagai bahan campuran, berupa berbagai jenis butiran yang menempati bagian-bagian penting pada struktur perkerasan jalan.

Agregat dalam pengertian di atas adalah berupa agregat kasar (misalnya: batu pecah/kerikil ) dan agregat halus (misalnya: pasir). Masing-masing agregat tersebut memiliki persyaratan yang harus dipenuhi tergantung pada tujuan pemakaiannya.

##### 2.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah batuan yang tertahan saringan no. 4 dan terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah. Memilih jenis agregat yang akan digunakan untuk bahan perkerasan aspal tergantung pada persediaan/deposit, harga, mutu, dan model konstruksi yang dikehendaki. Sifat-sifat agregat kasar yang perlu diselidiki agar dapat dipakai sebagai bahan perkerasan jalan, diantaranya adalah sebagai berikut :

**a. Gradasi**

Gradasi suatu agregat menunjukkan ukuran dan pembagian butirannya. Gradasi dengan melakukan analisa saringan dimana biasanya dipergunakan saringan berlubang persegi ( *US Standart Sieves*). Ukuran saringan untuk agregat kasar adalah 2,5"; 2"; 1,5"; 1"; 3/4"; 1/2"; dan 3/8". Untuk agregat halus biasanya dinyatakan dengan nomor, yaitu : no.4; 8; 16; 30; 50; 100; dan 200. Angka-angka tersebut menunjukkan jumlah lubang setiap inch.

Pada penelitian ini gradasi yang digunakan adalah gradasi no. X. Hal ini berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya (Bowo Harsono, 1992). Dengan kadar aspal yang tetap (6,75%), gradasi agregat campuran no. X memberikan nilai stabilitas tertinggi (1313,9309 kg) diantara sebelas gradasi yang direkomendasikan oleh Bina Marga.

Evaluasi terhadap gradasi agregat diperlukan agar diperoleh suatu lapisan yang padat, terutama setelah mengalami proses pemadatan, dimana rongga antar butiran agregat akan diisi oleh butiran yang lebih halus atau kecil ukurannya.

**b. Kebersihan**

Dalam hal ini yang dimaksud adalah kebersihan terhadap debu dan zat organik. Kotoran ini memberikan pengaruh negatif terhadap daya lekat aspal pada agregat. Kotoran ini antara lain lempung, akar-akar, batu lunak, dan lain-lain.

Umumnya, kebersihan dapat diteliti secara visual. Pemeriksaan untuk mengetahui jumlah kotoran yang terkandung dalam agregat adalah Sand Equivalent Test.

**c. Kekuatan/kekerasan**

Agregat merupakan bahan pembentuk campuran Aspal beton yang sangat penting. Agregat dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan, maka perlu diteliti sifat/kekerasannya.

Agregat dapat mengalami proses degradasi akibat pengaruh mekanis. Degradasi didefinisikan sebagai kehancuran agregat menjadi partikel-partikel

yang lebih kecil akibat gaya yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan atau oleh beban lalu lintas.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi yang terjadi adalah :

- Jenis agregat; agregat yang lunak mengalami degradasi yang lebih besar dibanding agregat yang lebih keras.
- Gradasi; gradasi terbuka mempunyai tingkat degradasi yang lebih besar dibanding gradasi yang lebih rapat.
- Bentuk; partikel bulat akan mengalami degradasi yang lebih besar dibanding yang berbentuk kubus/bersudut.
- Ukuran partikel; partikel yang lebih kecil mempunyai tingkat degradasi yang lebih kecil daripada partikel besar.
- Beban pemadatan; degradasi akan terjadi lebih besar pada pemadatan dengan menggunakan beban pemadatan yang lebih besar.

Ketahanan agregat terhadap penghancuran (degradasi) diperiksa dengan menggunakan beberapa macam pemeriksaan, antara lain :

- Tes keausan/abrasi dengan mesin Los Angeles
- Tes ketahanan bentur (*Impact Test*)
- Tes ketahanan tekan (*Crushing Test*)
- Tes ketahanan terhadap gosokan (*Polished Stone Test*)

Tes abrasi dengan mesin Los Angeles mengukur daya tahan agregat terhadap pengausan. Semakin kecil nilai hasil pemeriksaan ini maka semakin besar daya tahan agregat tidak mempunyai kekerasan cukup untuk digunakan sebagai bahan/material perkerasan. Agregat dengan nilai abrasi < 30% baik sebagai bahan/material lapis penutup. Agregat dengan nilai abrasi < 40% baik sebagai bahan/material lapis permukaan dan lapispondasi atas (*base*). Agregat dengan nilai abrasi < 50% dapat dipergunakan sebagai bahan/material lapisan lebih bawah.

Pengujian bentur (*Impact Tes*) dilakukan untuk memeriksa ketahanan agregat menjadi butir (fraksi) yang lebih kecil, yang diakibatkan oleh beban/benturan yang berulang sebagai simulasi dari beban bergerak ( lalu lintas ) pada perkerasan jalan. Pengujian agregat dengan alat Impact Test telah

distandarisasi oleh *The British Institution* (BSI) dan *The Indian Standards Institution* (ISI). BSI dan ISI telah mengklarifikasikan nilai *Impact* seperti tertera pada **Tabel 2.1** berikut :

**Tabel 2.1** klarifikasi nilai *Impact*

No.	Nilai <i>Impact</i>	Klasifikasi
1.	< 10	Sangat kuat
2.	10 – 20	Kuat
3.	10 – 30	Cocok untuk lapisan permukaan jalan
4.	>35	Kurang baik untuk lapisan permukaan jalan

Sumber : Standar Bina Marga

Hasil evaluasi nilai *Impact* dapat memperkirakan mutu agregat yang akan digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Dari pertemuan *The Indian Roads Congress*, telah ditentukan besarnya nilai *Impact* maksimum yang cukup teliti untuk bermacam-macam tipe perkerasan. Penggunaan nilai *Impact* yang disarankan seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.2** berikut :

**Tabel 2.2** penggunaan nilai *Impact* yang disarankan

No.	Tipe Kontruksi	Nilai <i>Impact</i> max. ( % )
1.	Konstruksi sistim penyiraman U Surface dressing ), penetrasi makadam, lapis aspal beton & lapis aus beton semen	30
2.	Bitumen bound Makadam	35
3.	Pondasi Jalan Beton Semen	45

Sumber : BSI dan ISI

Disarankan untuk tidak menggunakan agregat dengan nilai *impact* < 10 karena diperkirakan akan berakibat merusak peralatan pemecah batu (*stone crusher*).

Pemeriksaan ketahanan hancur agregat akibat tekan (*crushing test*), seperti pengujian agregat dengan alat *Impact test*, telah pula distandarisasi oleh *The British Standards Institution* (ISI). Pemeriksaan ini dilakukan untuk

mengetahui secara langsung daya tahan agregat terhadap tekanan (*stress*) yang diberikan dan meningkat secara perlahan.

Semakin rendah nilai *Crushing test* maka semakin kuat agregat tersebut. Nilai *Crushing test* dikatakan baik jika tidak lebih besar dari 45%. Nilai *Crushing test* < 30% baik digunakan untuk lapis permukaan (*surface course*). Nilai *Crushing test* < 45% baik digunakan untuk lapisan *base*.

Pada umumnya agregat yang memiliki ketahanan yang baik terhadap kehancuran (*crushing*) juga memiliki ketahanan yang baik terhadap benturan (*impact*), abrasi dan lain-lain. Namun cukup sulit untuk menduga hasil suatu jenis pemeriksaan berdasarkan hasil jenis pemeriksaan lain, kecuali dalam suatu selang/ interval. Lees (*Reader of Highway Engineering, 1980*) melaporkan adanya korelasi antara nilai Impact dan nilai *Crushing* dengan koefisien korelasi 0,86 (TRRL) atau 0,89 (Birmingham University, UK).

Selain beberapa pemeriksaan di atas masih ada pula pemeriksaan atau pengujian yang cukup penting, yakni pemeriksaan ketahanan agregat terhadap gosokan (*Polished Stone Test*) yang telah distandarisasi oleh *The British Standards Institution* (BSI). Pemeriksaan ini bertujuan mengetahui adanya daya tahan agregat/batuan terhadap gosokan yang mungkin diakibatkan oleh lalu lintas. Semakin besar nilai ini, semakin besar daya tahannya. Nilai yang tinggi (> 60) diperlukan untuk jalan dengan lalu lintas padat. Daya tahan agregat terhadap gosokan (*polished*) merupakan faktor penting yang mendukung peningkatan daya tahan terhadap selip/gelincir (*skid resistance*).

#### **d. Keawetan**

Agregat sebagai bahan perkerasan aspal harus memiliki daya tahan yang cukup terhadap pengaruh cuaca, sehingga tidak mudah hancur akibat pengaruh perubahan cuaca. Daya tahan ini mempengaruhi keawetan suatu campuran aspal.

Pemeriksaan ketahanan agregat ini dapat dilakukan dengan pengujian *soundness*, yakni menggunakan larutan bahan kimia natrium sulfat ataupun magnesium sulfat. Semakin kecil nilai *soundness* (kehilangan berat) maka semakin baik daya tahan agregat tersebut. Batas maksimum kehilangan berat pada pengujian dengan natrium sulfat adalah 12%, sedangkan dengan magnesium sulfat adalah 18%.

**e. Bentuk butiran**

Bentuk butiran dapat mempengaruhi cara pengerjaan (*workability*) dan stabilitas campuran. Dalam hal ini cara pengerjaan (*workability*), bentuk butiran akan mempengaruhi kemampuan pemadatan yang diperlukan untuk mencapai kepadatan yang diinginkan. Butiran yang tidak teratur bentuknya atau yang bentuknya bersudut, seperti batu pecah, memiliki kecenderungan saling mengunci satu sama lainnya bila dipadatkan dan dapat menahan perpindahan tempat. Dalam hal ini stabilitas campuran, bentuk butiran yang tidak beraturan bentuknya ataupun yang bersudut memiliki kemampuan saling mengunci (*interlocking*) yang baik. Hal ini akan dapat meningkatkan kestabilan campuran tersebut. Penguncian yang baik karena kecilnya luas bidang kontak antar butiran sehingga mudah tergelincir.

**f. Daya absorpsi**

Daya absorpsi adalah daya serap agregat terhadap air atau bitumen. Agregat dengan daya absorpsi yang tinggi akan menyerap aspal dalam jumlah relatif besar. Hal ini kurang baik, karena dapat menyebabkan pemborosan aspal dan juga menyebabkan berkurangnya daya lekat aspal karena aspal yang seharusnya menyelimuti permukaan agregat akan terserap ke dalam pori agregat. Hal ini menunjukkan bahwa perlu adanya pemeriksaan daya serap/absorpsi agregat. Suatu besar porositas tertentu harus dimiliki agregat untuk menimbulkan ikatan antara agregat dan aspal.

**g. Daya lekat terhadap aspal**

Faktor yang mempengaruhi kelekatan agregat terhadap aspal dapat dibedakan atas dua bagian yaitu :

- Sifat mekanis, yang tergantung dari :
  - a) Pori-pori dan absorpsi
  - b) Bentuk dan tekstur permukaan
  - c) Ukuran butir
- Sifat kimiawi agregat

Agregat berpori berguna untuk menyerap aspal sehingga ikatan antara aspal dengan agregat baik. Tetapi jika terlalu banyak pori dapat mengakibatkan terlalu banyak aspal yang terserap dan berakibat kadar aspal dalam campuran menjadi

berkurang. Banyaknya pori ditentukan dari banyaknya air yang dapat terabsorpsi oleh agregat.

Air yang telah diserap oleh agregat sukar dihilangkan walaupun melalui proses pengeringan sehingga mempengaruhi daya lekat agregat terhadap aspal. Oleh karena itu besarnya absorpsi dibatasi 3% untuk agregat yang akan digunakan pada campuran aspal beton untuk lapisan permukaan.

Agregat berbentuk kubus dan kasar lebih baik mengikat aspal daripada agregat berbentuk bulat dan halus. Permukaan agregat yang kasar akan memberikan ikatan dengan aspal lebih baik daripada agregat dengan permukaan licin.

Selain hal di atas, daya lekat terhadap aspal dipengaruhi juga oleh sifat agregat terhadap air. Agregat yang mengandung silika seperti batu kwarsa dan granit merupakan agregat yang bersifat hydrophilic yaitu agregat yang “senang” terhadap air. Agregat demikian tidak baik digunakan sebagai bahan campuran aspal beton, karena mudah terjadi *stripping*, yakni lepasnya lapis aspal dari agregat akibat pengaruh air. Sebaliknya agregat/batuan seperti Diorit, Andesit, dan Limestone disebut agregat *hydrophobic* yakni agregat yang tidak mudah terikat dengan air sehingga ikatan antara aspal dan agregat cukup baik dan *stripping* yang terjadi kecil sekali.

Berdasarkan pernyataan di atas maka perlu diadakan pemeriksaan kelekatan agregat terhadap aspal. Kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam persentase luas permukaan batuan/agregat yang tertutup aspal terhadap seluruh luas permukaan. Nilai kelekatan agregat terhadap aspal untuk bahan campuran aspal beton minimal 95%.

#### **h. Berat jenis**

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran aspal beton karena umumnya perencanaan didasarkan pada perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori. Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang

sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak. Disamping itu agregat dengan kadar pori besar membutuhkan jumlah aspal yang banyak.

Ada 3 macam berat jenis yang dapat ditentukan berdasarkan AASHTO T 85-74, yaitu :

- Berat jenis bulk (*Bulk spesific gravity*)

Berat jenis bulk adalah berat jenis dimana volume yang diperhitungkan adalah seluruh volume pori yang ada (volume pori yang dapat diresapi air dan volume pori yang tak dapat diresapi air). Jika dianggap aspal hanya menyelimuti bagian luar dari agregat maka digunakan berat jenis bulk.

- Berat jenis semu (*Apparent spesific gravity*)

Berat jenis semu adalah berat jenis dimana volume yang diperhitungkan adalah volume partikel dan volume pori yang tak dapat diresapi air. Penggunaan berat jenis ini dalam perhitungan jika dianggap aspal dapat meresapi seluruh bagian yang dapat diresapi air.

- Berat jenis efektif (*Effective spesific gravity*)

Berat jenis efektif adalah berat jenis dimana volume yang diperhitungkan adalah volume partikel, volume pori yang tak dapat diresapi air, dan volume pori yang dapat diresapi air tetapi tidak dapat diresapi aspal. Pada kenyataannya aspal yang digunakan secara normal hanya akan meresapi sebagian dari pori yang dapat diresapi oleh air. Dengan demikian sebaiknya menggunakan berat jenis efektif.

### 2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus harus terdiri dari pasir alam atau pasir buatan atau pasir terak atau gabungan dari bahan-bahan tersebut. Agregat halus tersebut harus bersih, kering, kuat, bebas dari bahan-bahan lain yang mengganggu serta terdiri dari butir-butir yang bersudut tajam dan mempunyai permukaan yang kasar.

Agregat halus yang berasal dari batu kapur pecah hanya boleh digunakan apabila dicampur dengan pasir alam dalam perbandingan yang sama, kecuali apabila pengalaman telah menunjukkan bahwa bahan tersebut tidak mudah licin oleh lalu lintas. Agregat halus yang berasal dari hasil pemecahan batu halus berasal dari batuan induk yang memenuhi persyaratan agregat kasar kecuali persyaratan sebagai berikut :

- Jumlah berat butiran tertahan saringan no.4 yang mempunyai paling sedikit dua bidang pecah (visual) : minimum 50% (khusus untuk kerikil pecah).
- Indeks kepipihan/kelonjongan butiran tertahan 9,5 mm atau 3/8" (*British Standard*) : maksimum 25%.

### 2.2.3 Bahan pengisi (*filler*)

Apabila diperlukan, bahan pengisi dapat terdiri dari abu, abu batu kapur, kapur padam, semen ( PC ), atau bahan non plastis lainnya. Bahan pengisi tersebut hendaknya kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu dan apabila dilakukan pemeriksaan analisis saringan secara basah, maka dapat memenuhi gradasi sebagai berikut :

**Tabel 2.3** Gradasi Bahan Pengisi

Ukuran saringan	Persentase berat yang lolos
No. 30 ( 0,590 mm )	100
No. 50 ( 0,279 mm )	95 – 100
No. 100 ( 0,149 mm )	90 – 100
No. 200 ( 0,074 mm )	65 - 100

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Hari Suhartanto, 1992) diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan jenis *filler* yang berbeda akan menghasilkan nilai stabilitas campuran aspal beton yang berbeda pula. Dari penelitian beberapa jenis *filler* yang digunakan (semen portland, semen merah, abu batu, dan kapur), campuran Aspal beton yang menggunakan *filler* dari abu batu menghasilkan nilai stabilitas tertinggi (458,0312 kg).

### 2.3 Aspal

Aspal berfungsi sebagai bahan pengikat agregat dan sebagai bahan penutup lapis perkerasan dari pengaruh air (kedap air). Sesuai fungsinya maka persyaratan bahan aspal (*bitumen*) secara umum adalah sebagai berikut :

- a. Sebagai bahan pengikat, harus memberikan daya lekat yang baik, sehingga dibutuhkan daya adhesi dan kohesi yang besar
- b. Sebagai bahan pengisi, harus dapat mengisi volume yang tersedia, sehingga dibutuhkan sifat plastis yang besar dan sifat kecairan yang cukup

Secara khusus, persyaratan yang telah ditetapkan untuk bahan aspal adalah : hendaknya terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 60/70 atau 80/100 yang seragam, tidak mengandung air, bila dipanaskan sampai dengan 175°C tidak berbusa, dan memenuhi persyaratan seperti tercantum pada **Tabel 2.4** berikut :

**Tabel 2.4** Persyaratan Aspal Keras

Jenis Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan (SK SNI)	Persyaratan				Satuan
		Pen.60		Pen.80		
		Min	Max	Min	Max	
1. Penetrasi ( 25°C, 5 detik )	M – 21 – 1990 – F	60	79	80	99	0,1 mm
2. Titik lembek ( ring ball )	M – 20 – 1990 – F	48	58	46	54	°C
3. Titik nyala ( clev. Open cup )	M – 19 – 1990 – F	200	-	225	-	°C
4. Kehilangan berat ( 163°C, 5 jam )	AASHTO T179	-	0,8	-	0,1	% berat
5. Kelarutan ( C <sub>2</sub> HCL <sub>3</sub> )	PA. 0305 – 76	99	-	99	-	% berat
6. Daktilitas ( 25°C, 5 cm/menit )	M – 28 – 1990 – F	100	-	100	-	Cm
7. Penetrasi setelah kehilangan berat	PA. 0301 – 76	54	-	50	-	% semula
8. Daktilitas setelah kehilangan berat	PA. 0306 – 76	50	-	75	-	Cm
9. Berat jenis ( 25°C )	M – 30 – 1990 – F	1	-	1	-	gr/cc

Sumber : Dep. PU, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton ( Laston ) Untuk Jalan Raya, Jakarta, 1997, Hal : 8

## 2.4 Persyaratan umum campuran aspal beton

Untuk memperoleh campuran yang ideal, maka perlu diperhatikan persyaratan-persyaratan di bawah ini :

### a. Stabilitas ( *Stability* )

Stabilitas adalah kemampuan untuk menahan deformasi permanen yang disebabkan oleh beban lalu lintas. Faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas adalah Internal Friction suatu susunan agregat adalah kombinasi gesekan dan kemampuan saling mengunci ( *interlocking* ) antar agregat dimana hal ini sangat tergantung dari :

- Kekasaran permukaan agregat
- Bentuk agregat
- Gradasi dan ukuran agregat

Secara umum, lebih angular bentuk agregat yang dipakai dan makin kasar permukaannya, makin tinggi nilai stabilitas yang dapat dicapai. Kohesi tergantung dari viskositas, kadar aspal dan temperatur. Nilai kohesi akan naik bila viskositas aspal semakin tinggi dan sebaliknya. Kohesi suatu campuran juga akan naik sejalan dengan naiknya kadar aspal yang digunakan suatu batas tertentu. Penambahan jumlah aspal secara berlebihan akan menyebabkan rongga terisi aspal pada campuran menjadi berlebihan, hal ini dapat menyebabkan kehilangan *internal friction*.

b. Fleksibilitas (*Flexibility*)

Fleksibilitas adalah kemampuan untuk mencegah defleksi tanpa menyebabkan retak (*cracking*) akibat beban berulang yang diterima. Fleksibilitas juga diperlukan untuk mengatasi perubahan volume akibat perubahan suhu.

Ada persyaratan yang membatasi perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai flow suatu campuran yang disebut *Marshall Quotient*. Makin tinggi nilai *Marshall Quotient* maka campuran tersebut akan makin kaku atau kurang fleksibel.

Faktor yang mempengaruhi fleksibilitas diantaranya adalah :

- Jumlah aspal yang digunakan
- Jumlah *filler* yang digunakan
- Viskositas aspal dalam campuran

c. Durabilitas / keawetan (*Durability*)

Durabilitas adalah kemampuan untuk mencegah perubahan-perubahan yang diantaranya diakibatkan oleh umur aspal, pengaruh air/kelembaban, keausan agregat, dan beban lalu lintas.

Faktor yang mempengaruhi durabilitas diantaranya adalah :

- Kekerasan dan gradasi agregat
- Kualitas aspal
- Kualitas pelaksanaan

d. Workabilitas / kemudahan pelaksanaan ( *workability* )

Workabilitas adalah kemudahan pelaksanaan penghamparan dan pemadatan

Faktor yang mempengaruhi workabilitas diantaranya adalah :

- Jumlah / komposisi agregat kasar dan agregat halus ( gradasi )
- Kadar aspal
- Viskositas aspal yang digunakan
- Temperatur

e. Impermeabilitas ( *Impermeability* )

Impermeability adalah kemampuan untuk mencegah masuknya air dan udara ke dalam campuran aspal.

Faktor yang mempengaruhi impermeabilitas diantaranya adalah :

- Kadar aspal
- Kadar pori
- Kualitas pelaksanaan pemadatan

f. Anti selip ( *Skid Resistance* )

*Skid Resistance* adalah kemampuan untuk mencegah tergelincirnya kendaraan di jalan. Penggunaan kadar aspal yang rendah, agregat dengan tekstur permukaan kasar dan tahan terhadap *polishing*, akan mempertinggi nilai *skid resistance*. Sebaliknya campuran yang mempunyai kadar aspal yang relatif tinggi atau berlebihan akan menyebabkan lapis permukaan yang licin dan mempunyai nilai *skid resistance* rendah.

## 2.5 Persyaratan Teknis Campuran Aspal Beton

Disamping persyaratan umum di atas, campuran aspal beton harus memenuhi persyaratan teknis seperti pada **Tabel 2.5** berikut :

**Tabel 2.5** Persyaratan Campuran Aspal Beton

Sifat campuran	L.L Berat		L.L Sedang		L.L Ringan	
	min	maks	min	maks	min	maks
Stabilitas ( kg )	550	-	450	-	350	-
Kelelehan ( mm )	2,0	4,0	2,0	4,5	2,0	5,0
Stabilitas/kelelehan ( kg/mm )	200	350	200	350	200	350
Rongga dalam campuran ( % )	3	5	3	5	3	5
Rongga dalam agregat ( % )	Lihat tabel 2.6					
Indeks perendaman ( % )	75	-	75	-	75	-

Sumber : Dept. Pekerjaan Umum, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton ( Laston ) Untuk Jalan Raya, Jakarta, Hal : 10

Selain persyaratan di atas, juga syarat rongga yang terisi aspal yaitu 65% sampai 82%.

**Tabel 2.6** Persentase Minimum Rongga dalam Agregat

Ukuran maksimum nominal agregat	Persentase minimum rongga dalam agregat	
No. 16	1,18 mm	23,5
No. 8	2,36 mm	21,0
No. 4	4,75 mm	18,0
3/8 inch	9,50 mm	16,0
1/2 inch	12,50 mm	15,0
3/4 inch	19,00 mm	14,0
1 inch	25,00 mm	13,0
1 1/2 inch	37,50 mm	12,0
2 inch	50,00 mm	11,5
2 1/2 inch	63,00 mm	11,0

Sumber : Dept. Pekerjaan Umum, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton ( Laston ) Untuk Jalan Raya, Jakarta, Hal : 10

## 2.6 Penggunaan Agregat Zeolite pada Campuran Aspal Beton

Pada Subbab kali ini akan kami jelaskan tentang zeolit yang akan digunakan pada skripsi ini.

### 2.6.1 Zeolite

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali dan alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya, secara empiris mempunyai rumus sebagai berikut (Kirk-Othmer, 1978) :



Dimana,  $M_{x/n}$ : kation golongan IA dan IIA dalam sistem periodik, n: valensi logam alkali, x: bilangan tertentu alumina dari 2-10, y: bilangan tertentu silika dari 2-7, z: jumlah molekul air.

Umumnya zeolit tersusun oleh satuan unit pembangun primer yang merupakan satuan unit terkecil tetrahedral  $SiO_4$  dan  $AlO_4$ . Dalam struktur zeolit, atom Si dan O tidak memiliki muatan, sedangkan atom Al bermuatan negatif sehingga struktur rantai aluminosilika tersebut akan dinetralkan oleh kation (contoh  $Na^+$ ,  $Ca^+$ , dan  $K^+$ ). Klasifikasi zeolit yang merupakan senyawa aluminosilikat adalah sebagai berikut :

1.  $[AlO_4]^-$  dan  $[SiO_4]^-$  saling berhubungan pada sudut-sudut tetrahedralnya membentuk Al, Si framework 3D yang berpori.
2. Muatan pada framework dinetralkan dengan mengikat kation-kation monovalen atau divalen di dalam porinya.
3. Memiliki kemampuan sebagai penukar kation.
4. Mengikat molekul air di dalam pori-porinya.

Berikut adalah **Tabel 2.7** beberapa contoh jenis mineral zeolit beserta rumus kimianya :

**Tabel 2.7** Jenis mineral zeolit beserta rumus kimia

Nama Mineral	Rumus Kimia Unit Sel
<b>Analsim</b>	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
<b>Kabazit</b>	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_6 (\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
<b>Klipnoptolit</b>	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_4\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
<b>Erionit</b>	$(\text{Na}, \text{Ca}_5\text{K}) (\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
<b>Ferrierit</b>	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
<b>Heulandit</b>	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
<b>Laumonit</b>	$\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
<b>Mordenit</b>	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
<b>Filipsit</b>	$(\text{Na}, \text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
<b>Natrolit</b>	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
<b>Wairakit</b>	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Saluran pori pada zeolit berisi molekul air terbentuk akibat proses hidrasi udara disekeliling kation penukar. Melalui pemanasan air akan terurai dan saluran-saluran pori akan mengadsorpsi pada permukaan dalam dari ruang.

Zeolit mempunyai selektivitas tinggi dan sering digunakan untuk mengisolasi kation-kation yang diikat. Menurut Mumpton dan Fishman (1978), pertukaran zeolit bersifat membuka ikatan kerangka tetrahedralnya sehingga dapat terurai atau bertukar dengan mudah oleh pencucian suatu larutan yang kuat. Artinya, zeolit dapat memberikan ion-ion logam dengan adanya penambahan larutan garam.

### 2.6.2 Sifat Zeolit

Zeolit mempunyai sifat **dehidrasi** (melepaskan molekul  $H_2O$ ) apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul  $H_2O$  seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel. Sifat zeolit sebagai **adsorben dan penyaring molekul**, dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi. Zeolit juga bersifat sebagai padatan asam Bronsted melalui pengaturan perbandingan Si/Al dalam kerangka kristal. Tetapi cara ini hanya diterapkan pada zeolit yang kaya silika, karena tahan oleh asam.

Sifat-sifat tersebut menjadikan zeolit banyak digunakan dalam proses-proses dasar seperti dalam proses adsorpsi, pertukaran kation, katalis yang selektif dengan memanfaatkan pusat asam dan sebagai ayakan molekul.

Karena sifat fisika dan kimia dari zeolit yang unik, sehingga dalam dasawarsa ini, zeolit oleh para peneliti dijadikan sebagai mineral serba guna. Sifat-sifat unik tersebut meliputi dehidrasi, adsorben dan penyaring molekul, katalisator dan penukar ion.

### 2.6.3 Fungsi Zeolit

#### a. Zeolit sebagai agen pendehidrasi

Kristal zeolit normal mengandung molekul air yang berkoordinasi dengan kation penyeimbang. Zeolit dapat didehidrasi dengan memanaskannya. Pada keadaan ini kation akan berpindah posisi, sering kali menuju tempat dengan bilangan koordinasi lebih rendah. Zeolit terdehidrasi merupakan bahan pengering (*drying agents*) yang sangat baik. Penyerapan air akan membuat kation kembali menuju keadaan koordinasi tinggi.

#### b. Zeolit sebagai penukar ion

Kation  $M^{n+}$  pada zeolit dapat ditukarkan oleh ion lain yang terdapat pada larutan yang mengelilinginya. Dengan sifat ini zeolit-A dengan ion  $Na^+$  dapat digunakan sebagai pelunak air (*water softener*) dimana ion  $Na^+$  akan digantikan oleh ion  $Ca^{2+}$  dari

air sadah. Zeolit yang telah jenuh  $\text{Ca}^{2+}$  dapat diperbarui dengan melarutkannya ke dalam larutan garam  $\text{Na}^+$  atau  $\text{K}^+$  murni. Zeolit-A sekarang ditambahkan ke dalam deterjen sebagai pelunak air menggantikan polipospat yang dapat menimbulkan kerusakan ekologi. Produksi air minum dari air laut menggunakan campuran Ag dan Ba zeolit merupakan proses desalinasi yang baik walaupun proses ini tergolong mahal.

Beberapa zeolit mempunyai affinitas besar terhadap kation tertentu. Clinoptilolite (HFU) merupakan zeolit alam yang digunakan untuk *recovery*  $^{137}\text{Cs}$  dari sampah radioaktif. Zeolit-A juga dapat digunakan untuk mengisolasi strontium. Zeolit telah digunakan secara besar-besaran untuk membersihkan zat radioaktif pada kecelakaan Chernobyl dan Three-Mile Island.

Zeolit juga digunakan untuk mengurangi tingkat pencemaran logam berat seperti Pb, Cd, Zn,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  pada lingkungan. Modifikasi zeolit sebagai adsorben anion seperti  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , dan  $\text{SO}_4^-$  telah dikembangkan melalui proses kalsinasi zeolit-H pada suhu  $550^\circ\text{C}$ .

### c. Zeolit sebagai Adsorben

Zeolit yang terdehidrasi akan mempunyai struktur pori terbuka dengan *internal surface area* besar sehingga kemampuan mengadsorb molekul selain air semakin tinggi. Ukuran cincin dari jendela yang menuju rongga menentukan ukuran molekul yang dapat teradsorb. Sifat ini yang menjadikan zeolit mempunyai kemampuan penyaringan yang sangat spesifik yang dapat digunakan untuk pemurnian dan pemisahan. Chabazite (CHA) merupakan zeolit pertama yang diketahui dapat mengadsorb dan menahan molekul kecil seperti asam formiat dan metanol tetapi tidak dapat menyerap benzena dan molekul yang lebih besar. Chabazite telah digunakan secara komersial untuk mengadsorb gas polutan  $\text{SO}_2$  yang merupakan emisi dari cerobong asap. Hal yang sama terdapat pada zeolit-A dimana diameter jendela berukuran 410 pm yang sangat kecil dibandingkan diameter rongga dalam yang mencapai 1140 pm sehingga molekul metana dapat masuk rongga dan molekul benzena yang lebih besar tertahan diluar.

Selain itu zeolit juga dapat digunakan sebagai adsorben zat warna brom dan untuk pemucatan minyak sawit mentah. Zeolit yang digunakan sebagai penyaring molekular tidak menunjukkan perubahan cukup besar pada struktur kerangka dasar pada dehidrasi walaupun kation berpindah menuju posisi dengan koordinasi lebih rendah. Setelah dehidrasi, zeolit-A dan zeolit lainnya sangat stabil terhadap pemanasan dan

tidak terdekomposisi dibawah  $700^{\circ}\text{C}$ . Volume rongga pada zeolit-A terdehidrasi adalah sekitar 50% dari volume zeolit.

#### d. Zeolit sebagai katalis

Aktivitas katalitik dari zeolit terdeionisasi dihubungkan dengan keberadaan situs asam yang muncul dari unit tetrahedral  $[\text{AlO}_4]$  pada kerangka. Situs asam ini bisa berkarakter asam Bronsted maupun asam Lewis. Zeolit sintetik biasanya mempunyai ion  $\text{Na}^+$  yang dapat dipertukarkan dengan proton secara langsung dengan asam, memberikan permukaan gugus hidroksil (situs Bronsted). Jika zeolit tidak stabil pada larutan asam, situs Bronsted dapat dibuat dengan mengubah zeolit menjadi garam  $\text{NH}_4^+$  kemudian memanaskannya sehingga terjadi penguapan  $\text{NH}_3$  dengan meninggalkan proton. Pemanasan lebih lanjut akan menguapkan air dari situs Bronsted menghasilkan ion Al terkoordinasi 3 yang mempunyai sifat akseptor pasangan elektron (situs lewis). Permukaan zeolit dapat menunjukkan situs Bronsted, situs Lewis ataupun keduanya tergantung bagaimana zeolit tersebut dipreparasi.

Tidak semua katalis zeolit menggunakan prinsip deionisasi atau bentuk asam. Sifat katalisis juga dapat diperoleh dengan mengganti ion  $\text{Na}^+$  dengan ion lantanida seperti  $\text{La}^{3+}$  atau  $\text{Ce}^{3+}$ . Ion-ion ini kemudian memosisikan dirinya sehingga dapat mencapai kondisi paling baik yang dapat menetralkan muatan negatif yang terpisah dari tetrahedral Al pada kerangka. Pemisahan muatan menghasilkan gradien medan elektrostatis yang tinggi di dalam rongga yang cukup besar untuk mempolarisasi ikatan C-H atau mengionisasi ikatan tersebut sehingga reaksi selanjutnya dapat terjadi. Efek ini dapat diperkuat dengan mereduksi Al pada zeolit sehingga unit  $[\text{AlO}_4]$  terpisah lebih jauh. Tanah jarang sebagai bentuk tersubstitusi dari zeolit-X menjadi katalis zeolit komersial pertama untuk proses *cracking* petroleum pada tahun 1960an. Akan tetapi katalis ini telah digantikan oleh Zeolit-Y yang lebih stabil pada suhu tinggi. Katalis ini menghasilkan 20% lebih banyak petrol (gasolin) daripada zeolit-X.

Cara ketiga penggunaan zeolit sebagai katalis adalah dengan menggantikan ion  $\text{Na}^+$  dengan ion logam lain seperti  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pd}^{2+}$  atau  $\text{Pt}^{2+}$  dan kemudian mereduksinya secara *in situ* sehingga atom logam terdeposit di dalam kerangka zeolit. Material yang dihasilkan menunjukkan sifat gabungan antara sifat katalisis logam dengan pendukung katalis logam (zeolit) dan penyebaran logam ke dalam pori dapat dicapai dengan baik.

Teknik lain untuk preparasi katalis dengan pengemban zeolit melibatkan adsorpsi fisika dari senyawa anorganik volatil diikuti dengan dekomposisi termal.  $\text{Ni}(\text{CO})_4$  dapat teradsorb pada zeolit-X dan dengan pemanasan hati-hati akan terdekomposisi meninggalkan atom nikel pada rongga. Katalis ini merupakan katalis yang baik untuk konversi karbon monoksida menjadi metana.

## 2.7 Cara Perhitungan menggunakan metode ANOVA 2 arah

Pada subba ini kami akan menjelaskan penggunaan metode ANOVA 2 arah pada skripsi ini.

### 2.7.1 Pengertian ANOVA 2 arah

Analisa ragam (*Analysis of Variance*) atau yang lebih dikenal dengan istilah ANOVA adalah suatu teknik untuk menguji kesamaan beberapa rata-rata secara sekaligus. Uji yang dipergunakan dalam ANOVA adalah uji F karena dipakai untuk pengujian dari 2 sampel.

Uji Anova dua arah disebut juga Faktorial Anova, yang bermanfaat untuk menguji beberapa hipotesis mengenai perbedaan mean dalam desain faktorial (variabel independen 2, sehingga terdapat 4 kelompok dalam desain tersebut) Persyaratan utama dari desain ini adalah :

- Terdapat dua variabel independent, yang mana masing-masing variabel independent tersebut memiliki dua atau lebih level/kelompok. Dua variabel independent tersebut diasumsikan saling bersilangan satu sama lain.
- Level atau kelompok dalam masing-masing variabel independen dapat berbeda baik secara kuantitatif maupun kualitatif.
- Subyek hanya boleh muncul dalam satu sel desain faktorial sekali saja.

Tujuan dari Anova dua arah ini adalah untuk membandingkan nilai mean dari empat atau lebih kelompok dalam suatu desain faktorial, sehingga dapat diketahui:

- Apakah perbedaan mean yang ada, terjadi karena kebetulan, ataukah merupakan pengaruh dari faktor pertama (main effect untuk faktor A).
- Apakah perbedaan mean yang ada, terjadi karena kebetulan, ataukah merupakan pengaruh dari faktor kedua (main effect untuk faktor B).

- c. Apakah perbedaan mean yang ada, terjadi karena kebetulan, atukah merupakan pengaruh dari interaksi antara faktor pertama dengan faktor kedua (interaction effect).

Seringkali ada yang mengajukan pertanyaan, mengapa peneliti tidak melakukan suatu riset yang berbeda untuk masing-masing variabel. Hal tersebut tidak dilakukan dengan alasan untuk:

- a. Menghemat waktu dan sumber daya
- b. Memperoleh informasi yang lebih lengkap dari desain faktorial, karena informasi ini tidak dapat diprediksi dari pengaruh faktor 1 dan faktor 2 secara independent.
- c. Estimasi dari varians error akan lebih akurat dalam desain faktorial dibandingkan dengan desain Anova satu arah.

Dalam anova satu arah, total variabilitas antar skor dibagi ke dalam 2 sumber variabilitas yang bersifat independent. Yaitu variabilitas dalam kelompok (within-group variability) dan variabilitas antar kelompok atau (between group variability).

**Total variability = variability between group + variability within group (error).**

Sedangkan dalam anova dua arah, sumber variabilitasnya dibagi ke dalam 4 sumber.

**Total variabilitas = variabilitas karena faktor A+ variabilitas karena faktor B+ variabilitas karena interaksi A&B+variabilitas dalam kelompok(error).**

## 2.8 Persyaratan Standar Binamarga

Pada subbab ini kami akan menjelaskan tentang persyaratan standar binamarga aspal beton yang akan dipakai pada skripsi ini.

### Persyaratan Bahan

#### a. Agregat

- Umum
  - a) Agregat yang akan digunakan dalam pekerjaan harus sedemikian rupa agar Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir, yang proporsinya dibuat sesuai

dengan rumus perbandingan campuran (lihat Pasal SKh.6.3.b.5)), memenuhi semua

ketentuan yang disyaratkan dalam Tabel 2 sampai dengan Tabel 3.

- b) Agregat tidak boleh digunakan sebelum disetujui terlebih dahulu oleh Direksi Teknik. Bahan harus ditumpuk sesuai dengan ketentuan dalam Seksi 1.11 dari Spesifikasi Umum.
- c) Sebelum memulai pekerjaan Penyedia Jasa harus sudah melaksanakan pengadaan setiap fraksi agregat pecah dan pasir untuk Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir, paling sedikit untuk kebutuhan satu bulan dan selanjutnya tumpukan persediaan harus dipertahankan paling sedikit untuk kebutuhan Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir satu bulan berikutnya.
- d) Dalam pemilihan sumber agregat, Penyedia Jasa dianggap sudah memperhitungkan penyerapan aspal oleh agregat. Variasi kadar aspal akibat tingkat penyerapan aspal yang berbeda, tidak dapat diterima sebagai alasan untuk negosiasi kembali harga satuan dari Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir.
- e) Penyerapan air oleh agregat maksimum 3%.
- f) Berat jenis (bulk specific gravity) agregat kasar dan halus minimum 2,5 dan perbedaannya tidak boleh lebih dari 0,2.
- g) Fraksi agregat kasar, agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditumpuk terpisah.

- Agregat Kasar

- a) Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Tabel 2.
- b) Fraksi agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal. Ukuran maksimum (maximum size) agregat adalah satu ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (nominal maximum size). Ukuran nominal maksimum adalah satu ayakan yang lebih kecil dari ayakan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%.

- c) Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam Tabel 2.

Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 2,36 mm dengan bidang pecah satu atau lebih.

**Tabel 2.8 Ketentuan Agregat Kasar**

Pengujian	Standar	Nilai
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95%
Angularitas agregat kasar	SNI 03-6877-2002	Min. 95%
Partikel Pipih dan Lonjong(**)	RSNI T-01-2005	Maks. 10%
Material lolos Saringan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

Catatan :

(\*) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau

lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

(\*\*) Pengujian dengan perbandingan lengan alat uji terhadap poros 1 : 5

Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke Unit Pencampur Aspal melalui pemasok penampung dingin (cold bin feeds) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.

a) Batas-batas yang ditentukan dalam Tabel 2 untuk partikel kepipihan dan kelonjongan dapat dinaikkan oleh Direksi Teknis agar agregat tersebut memenuhi semua ketentuan lainnya dan semua upaya yang dapat dipertanggungjawabkan telah dilakukan untuk memperoleh bentuk partikel agregat yang baik.

b) Pembatasan lolos # 200 < 1%, pada ayakan kering karena agregat kasar yang dilekati lumpur tidak dapat dipisahkan pada waktu pengeringan sehingga tidak dapat dilekati aspal.

- Agregat Halus

a) Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri atas pasir atau pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm) sesuai SNI 03-6819-2002.

- b) Pasir boleh digunakan dalam Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir. Persentase maksimum yang diijinkan adalah 10%.
- c) Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu dalam Pasal SKh.6.3.b.2.4).a).(1). Agar dapat memenuhi ketentuan Pasal ini batu pecah halus harus diproduksi dari batu yang bersih.
- d) Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan dipasok ke Unit Pencampur Aspal dengan melalui pemasok penampung dingin (cold bin feeds) yang terpisah sedemikian rupa sehingga rasio agregat pecah halus dan pasir dapat dikontrol dengan baik.
- e) Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 2.9 Ketentuan Agregat Halus**

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Material Lolos Saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 8%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min 45

- **Bahan Pengisi (Filler)**

Bila diperlukan bahan pengisi maka bahan pengisi yang digunakan harus dari semen portland, Bahan tersebut harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki.

- **Campuran**

- a) **Komposisi Umum Campuran**

Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir terdiri dari agregat, filler dan peremaja serta asbuton butir. Bila diperintahkan oleh Direksi Pekerjaan, aditif dapat ditambahkan untuk menghasilkan sifat-sifat khusus di luar Tabel 8.

- b) **Kadar Aspal Dalam Campuran**

Persentase aspal yang aktual ditambahkan ke dalam campuran akan bergantung pada penyerapan agregat yang digunakan dan kadar bitumen dari asbuton.

- c) **Prosedur Rancangan Campuran**

- 1) Sebelum diperkenankan untuk menghampar setiap Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir dalam pekerjaan, Penyedia Jasa disyaratkan untuk menunjukkan semua usulan agregat dan campuran yang memadai berdasarkan hasil pengujian di laboratorium dan hasil percobaan penghamparan campuran yang dibuat di instalasi pencampur aspal.
- 2) Pengujian yang diperlukan meliputi analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air untuk semua agregat yang digunakan. Juga semua pengujian sifat-sifat agregat yang diminta oleh Direksi Pekerjaan. Pengujian pada Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir percobaan akan meliputi penentuan Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir sesuai SNI 03-6893-2002, pengujian sifat-sifat Marshall (RSNI M-01-2003) dan Kepadatan Membal (Refusal Density) campuran rancangan (BS 598 Part 104 – 1989).
- 3) Contoh agregat diambil dari penampung hangat (hot bin) untuk pencampur jenis takaran berat (weight batching plant) maupun pencampur dengan pemasok menerus (continuous feed plant).
- 4) Pengujian percobaan campuran harus dilaksanakan dalam beberapa tahapan berikut ini :
  - Memperoleh Gradasi Agregat yang Cocok  
Suatu gradasi agregat yang cocok diperoleh dari penentuan persentase yang memadai dari setiap fraksi agregat.
  - Buat gradasi masing-masing fraksi agregat termasuk gradasi mineral asbuton butir hasil ekstraksi (bila digunakan), kemudian buat gradasi campuran (memenuhi Tabel 4)
  - Kalibrasi kapasitas bukaan pintu masing-masing bin dingin.
  - Periksa kadar air masing-masing fraksi agregat dari bin dingin dan hitung kadar air gabungan (campuran)
  - Buat rancangan bukaan pintu bin dingin sehingga gradasi agregat gabungan paling mendekati gradasi campuran.
  - Tentukan rancangan kapasitas produksi UPA dengan menggunakan kadar air gabungan. Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir dapat dibuat bergradasi halus (mendekati batas titik-titik kontrol atas), tetapi akan sulit memperoleh Rongga Dalam Agregat (VMA) yang disyaratkan.

Lebih baik digunakan aspal beton bergradasi kasar (mendekati batas titik-titik kontrol bawah).

#### **b. Membuat Formula Campuran Rancangan (Design Mix Formula)**

Setelah dilakukan rancangan dingin, UPA dioperasikan tanpa pemberian peremaja. Ambil contoh dari masing-masing bin panas kemudian lakukan pengujian analisa saringan. Buat gradasi campuran dengan menggabungkan gradasi agregat dari masing-masing bin panas tersebut termasuk gradasi mineral asbuton butir hasil ekstraksi. Lakukan rancangan dan pemadatan Marshall sampai membal (refusal). Tetapkan Kadar Asbuton Butir dan Perkiraan Peremaja (Pp), sesuai tipe Asbuton Butir yang akan digunakan.

### **2.9 Hasil Studi Terdahulu**

Dari hasil penelitian terdahulu mengenai “Pengaruh Penggunaan Serbuk Zeolit Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete - Wearing Course)” oleh Amin Puhari mendapatkan hasil penelitian sebagai berikut :

- a. Kepadatan (density) campuran aspal beton dengan bahan tambah serbuk zeolit pada kadar aspal optimum lebih besar dari campuran aspal beton normal.
- b. Nilai VMA (prosentase rongga terisi aspal) campuran aspal beton dengan bahan tambah serbuk zeolit pada kadar aspal optimum lebih besar dari campuran aspal beton normal.
- c. Nilai VIM (prosentase rongga dalam campuran) campuran aspal beton dengan bahan tambah serbuk zeolit pada kadar aspal optimum lebih kecil dari campuran aspal beton normal.
- d. Nilai stabilitas campuran aspal beton dengan bahan tambah serbuk zeolit pada kadar aspal optimum lebih besar dari campuran aspal beton normal.
- e. Nilai flow campuran aspal beton dengan bahan tambah serbuk zeolit pada kadar aspal optimum lebih kecil dari campuran aspal beton normal.

Nilai Marshall Quotient campuran aspal beton dengan bahan tambah serbuk zeolit pada kadar aspal optimum lebih besar dari campuran aspal beton normal.