

BAB III . LANDASAN TEORI

A. Campuran Panas

Campuran panas (*Hotmix*) adalah merupakan campuran agregat dan aspal yang dicampur panas di dalam *AMP (Asphalt Mixing Plant)* secara terus menerus sampai pada batas-batas suhu pencampuran aspal yang sudah ditentukan oleh spesifikasi .

Bina Marga (1987), Pemanasan aspal harus pada suhu antara 140°C sampai 160°C dan pemanasan agregat harus suhu antara 135°C sampai 170°C, kedua suhu ini saat dimasukkan pada unit pencampur, suhu dari pada agregat tidak boleh lebih tinggi 15°C dari pada suhu aspal. Setelah perancangan campuran selesai dipanaskan lalu dituangkan ke dalam bak *dump truck*, kemudian dipindahkan kelokasi penanganan jalan yang sudah dilaksanakan pekerjaan *subbase course* dan *base course* untuk diadakan penggelaran lapisan permukaan dengan menggunakan peralatan penghampar dan pemadat yang tujuannya untuk menghaluskan hasil pekerjaan akhir.

Asphalt Institute, MS – 2 (1993), campuran panas terdiri dari komposisi material agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal yang memerlukan perancangan bahan susun untuk digunakan pada lapisan permukaan jalan. Bahan susun campuran panas ini terdiri dari :

1. Agregat

Agregat adalah merupakan sekumpulan butiran batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya baik dari hasil alam (*natural aggregate*), hasil olahan (*manufactured aggregate*) maupun hasil buatan (*syntetic aggregate*) yang digunakan sebagai bahan

utama konstruksi perkerasan jalan, beton, pondasi jalan kereta api (*ballast*) dan lain-lain. Agregat dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. proses alami (batuan alam, batuan buatan dan batuan sisa)
- b. berdasarkan gradasi (gradasi rapat, gradasi timpang dan gradasi terbuka)
- c. ukuran butiran (agregat kasar, agregat halus dan *filler*)
- d. bentuk butiran (kubikal, bulat, tidak beraturan dan lain-lain)
- e. proses terjadinya (dibawah air, angin, korosi dan pemecah batu)
- f. tekstur permukaan (berbentuk kasar, sedang dan halus)

Untuk gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan yang telah ditentukan terlebih dahulu mulai dari saringan yang paling besar sampai pada saringan yang paling kecil. Tujuan diadakan penyaringan terhadap agregat adalah dengan maksud untuk membedakan ukuran agar agregat kasar dan agregat halus, dan agregat yang sudah tersaring harus dihindari dari kotoran dan persentase debu yang akan mengandung partikel halus lebih besar dari persyaratan spesifikasi.

Bina Marga (1983), agregat yang digunakan untuk perkerasan jalan adalah harus bersih dari kotoran bahan organik dan kotoran lainnya yang akan menyebabkan kerusakan pada bahan susun perkerasan jalan.

Bina Marga (1991), agregat kasar yang nilai partikel halus (lolos # 200) > 1%, dan agregat halus yang nilai partikel halus (lolos # 200) > 11% tidak boleh digunakan dalam campuran, karena dianggap agregat tersebut kotor dan berdebu akibat mineral lain, terkecuali dilakukan pencucian terhadap agregat tersebut.

Totomihardjo (1995), agregat yang digunakan untuk bahan konstruksi jalan harus memenuhi syarat kekerasan yaitu tahan lama (*durable*), kuat (*strong*), keuletan (*toughness*), kekerasan (*hardness*), mengkilap (*polishing*), bidang pecah (*fracture*).

Gradasi agregat adalah bahan agregat yang terdiri dari berbagai diameter campuran butiran yang berbentuk susunan campuran tertentu. Apabila ditinjau dari segi spesifikasi gradasi bentuk susunannya terdiri dari :

a. Gradation master bands

Spesifikasi gradasi dengan mencantumkan batas-batas atas dan bawah, gradasi target dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu gradasi rapat (*dense graded*), gradasi terbuka (*open graded*) dan gradasi timpang (*gap graded*) dan gradasi ini mempunyai batas yang sempit sehingga variasi target gradasinya sedikit.

b. Gradation control points and restricted zone

Spesifikasi gradasi dengan titik-titik kontrol dan daerah tertutup, gradasi ini mempunyai batasan yang lebih besar, dan variasi target gradasi dapat dibuat lebih banyak, sehingga gradasi target dapat ditetapkan sesuai kinerja lapis perkerasan yang diinginkan, untuk memperbaiki tingkat pelayanan lapis perkerasan jalan harus dipergunakan gradasi jenis ini.

Kerbs dan Walker (1971), menyatakan bahwa gradasi batuan dapat dibagi atas tiga jenis yaitu :

1. *uniform / one size* adalah gradasi yang ukuran butiran agregatnya hampir sama atau seragam. Mempunyai nilai koefisien keseragaman $5 < C_u < 15$ dan koefisien gradasi $1 < C_c < 6$ (*USCS*).
2. *well graded* adalah gradasi yang mempunyai ukuran butiran mulai dari ukuran terbesar sampai ukuran terkecil dan susunan agregat ini mempunyai stabilitas yang tinggi.
3. *gap graded* adalah gradasi yang dalam distribusi ukuran butirannya tidak memiliki salah satu atau beberapa butiran.

Sukirman (1992), menyatakan agregat yang bergradasi baik adalah mempunyai gradasi yang rapat dan memberikan rongga antara butir yang kecil, sehingga menghasilkan stabilitas yang tinggi dan membutuhkan kadar aspal yang rendah guna untuk mengikatnya.

Agregat yang akan digunakan dalam pencampuran karakteristik *Asphalt Treated Base (ATB)* harus sesuai dengan komposisi campuran yang sudah ada dalam ketentuan spesifikasi dan sebagai bahan susun dari *base course* perkerasan lentur tersebut dapat dibedakan sebagai berikut :

a. Agregat kasar

Agregat kasar pada campuran aspal berfungsi memberikan stabilitas campuran dengan saling mengunci dari masing-masing pertikel agregat kasar dan sebagai stabilitas tahanan gesek terhadap suatu aksi perpindahan. Agregat kasar yang digunakan untuk campuran aspal tersebut sebagai persyaratannya dapat terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Persyaratan agregat kasar untuk campuran aspal panas

NO	Ukuran saringan		Persentase berat yang lolos	
	(ASTM)	(mm)	Camp. Nominal	Camp. Lap. Perata
1	3/4	20	100	100
2	1/2	12.7	30-100	95 - 100
3	3/8	9.5	0-55	50 - 100
4	# 4	4.75	0-10	0 - 100
5	# 200	0.075	0-1	0 - 5

Sumber: Bina Marga 1991

Persyaratan pemeriksaan sifat fisik agregat kasar terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Persyaratan pemeriksaan fisik agregat kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Persyaratan
1	Abrasi	%	< 40
2	Kelekatan terhadap aspal	%	> 95
3	Berat jenis curah	gr/cc	> 2,5
4	Penyerapan air	%	> 3
5	Soundnes test	%	< 7

Sumber: Bina Marga (1987)

b. Agregat halus

Agregat halus pada campuran aspal berfungsi untuk menambah stabilitas dari campuran dengan memperkokoh sifat saling mengunci dari agregat kasar, mengurangi rongga udara dalam campuran dan menaikkan luas permukaan serta menaikkan kadar aspal guna membuat campuran menjadi awet. Agregat halus yang digunakan untuk campuran aspal sebagai persyaratannya Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Persyaratan agregat halus untuk campuran aspal

No	Ukuran saringan		Jenis Campuran
	(ASTM)	(mm)	
			ATB
1	3/8	9.5	100
2	# 4	4.75	90 - 100
3	# 8	2.36	80 - 100
4	# 30	0.59	25 - 100
5	# 200	0.074	3 - 11

Sumber: Bina Marga (1991)

Persyaratan pemeriksaan sifat fisik agregat halus terlihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Persyaratan sifat fisik agregat halus

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Persyaratan
1	Berat jenis curah	gr/cc	> 2,5
2	Penyerapan air	%	< 3
3	Sand aquivalent	%	> 50
4	Soundness	%	< 12

Sumber: Bina Marga (1987)

Campuran yang harus ditetapkan menurut fraksi rancangan yang diisyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga (1991) yaitu :

1. Agregat kasar terdiri dari persentase berat dari campuran keseluruhan material yang tertahan pada saringan 2,36 mm.
2. Agregat halus terdiri dari persentase berat dari campuran keseluruhan material yang lolos saringan 2,36 mm tetapi tertahan saringan 0,075 mm.
3. Bahan pengisi terdiri dari persentase berat dari campuran keseluruhan dari material yang lolos saringan 0,075 mm.

Fraksi rancangan ini harus berada dalam batas-batas komposisi yang diisyaratkan dalam spesifikasi yang sudah ditentukan, seperti pada Tabel 3.1.

c. Pasir Silika (SiO_2)

Pasir silika adalah pasir yang kandungan senyawa silikanya sangat dominan. Silika sendiri merupakan mineral utama yang membentuk kuarsa dan salah satu mineral pembentuk kristal optik. Struktur atomik dari kuarsa adalah tetra hidron yang satu atom silikon dikelilingi empat atom oksigen. Contoh penting adalah *forstart* (Mg_2SiO_2) dalam $MgSiO_4$ ion SiO_4 diperoleh empat elektron dari atom magnesium memberikan satu elektron ke satuan dari SiO_4 . Pada temperatur kamar, satuan tetra

hidral dari silika tersusun dalam suatu susunan heksagonal, tetapi pada temperatur 875° C kestabilan susunan tertra hidral silika berubah. Fasa temperatur rendah dari silika disebut kuarsa, mineral temperatur tinggi disebut kristobalit. Perubahan dari kuarsa ke *trydynit* memerlukan perubahan besar dalam susunan kristalnya. Kristobalit mengalami suatu perubahan struktur yang lebih baik tetapi bukan pematahan, *Trydynit* mengalami dua perubahan pada jangkauan meta stabilnya. Pertama pada temperature 117° C dari yang lainnya. Pada temperatur 163° C inversi yang cepat ini mempengaruhi silika sebagai bahan *refrelatory* (bahan tahan api) dengan dibawah kondisi perubahan temperatur yang cepat. Silika/Kuarsa (SiO_2) banyak dipakai sebagai bahan industri seperti keramik, sebagai bahan anorganik yang bukan logam. Bahan dasar keramik berasal dari tambang (alam) yaitu : SiO_2 , Al_2O_3CaO , MgO , K_2O , Na_2O dan lain-lain. Bahan keramik ini banyak dipakai berbagai bidang industri elektronik, bahan bangunan bahkan telah digunakan teknologi nuklir dan ruangan angkasa.

Pasir silika atau kuarsa (*quartz sands*) merupakan pelapukan dari batuan beku asam seperti batu granit atau batuan beku lainnya yang mengandung mineral utama kuarsa. Kuarsa adalah mineral utama dari silika dan salah satu mineral pembentuk Kristal optik. Struktur atomik dari kuarsa adalah tetra hidron yang satu atom silikon dikelilingi empat atom oksigen. Mineral pembentuk pasir kuarsa secara dominan tersusun oleh kristal silika (SiO_2) yang membentuk pola heksagonal serta beberapa mineral pengotor yang bersenyawa dengan mineral tersebut. Material pengotor ini bersifat sebagai pemberi warna pada pasir kuarsa dan dari warna tersebut prosentasi derajat kemurnian dapat diperkirakan. Butiran yang mengandung banyak senyawa besi akan terlihat berwarna kuning, kandungan unsur aluminium

dan titan secara visual akan lebih jernih (putih), dan kandungan unsur kalsium, magnesium, kalium cenderung membentuk warna kemerahan. Sifat kimia dari pasir kuarsa (SiO_2) dapat diketahui cara metode *XRD* dengan sinar X dapat menentukan struktur dan pengenalan bahan berhablur seperti pasir kuarsa (Asmuni, 2002). Komposisi unsur-unsur pembentuk pasir pulau Rupert pada kedalaman 0 – 5m adalah :

Tabel 3.5. Komposisi senyawa pada pasir Pulau Rupert

Senyawa/Mineral	Persentase
SiO ₄	97,89%
TiO ₂	0,09%
Al ₂ O ₃	0,69%
Fe ₂ O ₃	0,35%
MnO	Bdl*
CaO	0,2%
Na ₂ O	0,65%
K ₂ O	0,32%
P ₂ O ₅	0,01%
L.O.I**	0,32%

Sumber: LAPI FT-UIR 2013

Pada umumnya pasir kuarsa banyak terdapat di Indonesia bagian barat, karena batuan di daerah ini bersifat asam. Kualitas pasir kuarsa terbaik terdapat di Kalimantan dengan kadar silika (SiO_2) berkisar antara 98,7% - 99,9% kemudian pasir kuarsa dari Bangka dan Belitung dengan kadar SiO_2 antara 97,6% – 98,53%. Khusus untuk pasir Pulau Rupert mempunyai kadar SiO_2 antara 97,45% – 98,06%

yang cukup potensial di manfaatkan sebagai bahan jalan. Jenis pasir kuarsa (*siliceous aggregate*), merupakan agregat yang memerlukan perhatian khusus karena pelekatan yang kurang baik terhadap aspal (*stripping*) karena umumnya mineralnya sebagian besar mengandung elektron positif, tetapi ada beberapa kuari deposit jenis pasir kuarsa mineralnya mengandung lebih besar elektron negatifnya sehingga mempunyai pelekatan yang baik terhadap aspal (*Asphalt Institute MS - 4*).

d. *Filler*

Filler adalah kumpulan mineral agregat yang lolos saringan nomor 200 (0,075 mm) dan berfungsi untuk mengisi rongga diantara partikel-partikel agregat kasar dan juga mengurangi besarnya rongga serta meningkatkan kerapatan dan stabilitas.

Totomihardjo (1995), penggunaan *filler* dalam campuran beton aspal akan sangat mempengaruhi karakteristik beton aspal, dan penggunaan *filler* ini dikelompokkan menjadi sebagai berikut :

1. Efek penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran aspal yaitu :
 - a. penggunaan *filler* terhadap viskositas terhadap campuran adalah :
 1. berbagai jenis *filler* terhadap viskositas tidak sama
 2. luas permukaan *filler* yang semakin besar akan menaikkan viskositas campuran jika dibandingkan dengan luas permukaan yang kecil
 3. adanya daya affinitas (tarik menarik) yang menyebabkan jumlah aspal dapat diserap oleh berbagai jenis *filler* yang sangat bervariasi.
 - b. penggunaan *filler* terhadap daktilitas dan penetrasi campuran adalah :
 1. kadar *filler* yang semakin tinggi akan menurunkan daktilitas, ini terjadi pada perubahan suhu

2. jenis *filler* bisa menaikkan viskositas aspal dan bisa menurunkan penetrasi aspal

c. efek suhu dan pemanasan

Kadar dan jenis *filler* akan memberikan pengaruh yang amat berbeda untuk berbagai temperatur.

2. Efek penggunaan *filler* terhadap karakteristik beton aspal.

Proses pencampuran beton aspal akan dipengaruhi persentase kadar *filler* dalam campuran, penggelaran dan pemadatan, dan oleh sebab itu jenis-jenis *filler* ini harus memenuhi persyaratan sesuai dengan analisa saringan yang sudah ada ketentuan lebih lanjut/terdahulu.

Filler pada campuran berfungsi sebagai bahan perekat dan pengisi rongga pada butiran agregat, adapun jenis aspal yang digunakan sebagai bahan perekat dalam campuran adalah aspal keras AC 60/70.

Tabel 3.6. Persyaratan filler untuk campuran aspal

No	Ukuran Saringan		Filler (% Lolos)
	(Nomor)	(mm)	
1	# 30	0.59	100
2	# 50	0.279	95 - 100
3	# 100	0.149	90 - 100
4	# 200	0.074	65 - 100

Sumber: Bina Marga (1987)

Gradasi optimum campuran

Batas-batas gradasi dari kombinasi agregat sebagai bahan pengisi campuran aspal untuk bahan susun *ATB* harus dirancang sesuai dengan *range* dari fraksi

rancangan campuran, sebagai komponen-komponen agregat tersebut dapat didefinisikan sebagai persyaratannya sebagai berikut:

- a. Fraksi agregat kasar adalah merupakan persentase berat dari campuran keseluruhan material yang tertahan oleh saringan 2,36 mm (# 8).
- b. Fraksi agregat halus adalah merupakan persentase berat dari campuran keseluruhan dari material yang lolos saringan 2,36 mm (# 8) tetapi tertahan pada saringan 0, 075 mm (# 200).
- c. Fraksi bahan pengisi adalah merupakan persentase berat dari campuran keseluruhan dari material yang lolos saringan 0, 075 mm (# 200).

Dalam perancangan bahan susun *ATB* ketiga dari fraksi rancangan ini harus dilakukan penyaringan sesuai dengan batas- batas yang sudah ditentukan.

Tabel 3.7. Gradasi agregat bahan susun campuran aspal

No	Ukuran Saringan		Persentase Lolos
	(Nomor)	(mm)	
1	3/4	19.1	100
2	1/2	12.5	75 - 100
3	3/8	9.5	60 - 85
4	# 4	4.75	35 - 75
5	# 8	2.36	20 - 35
6	# 30	0.59	10 - 22
7	# 50	0.28	6 - 16
8	# 100	0.15	4 - 12
9	# 200	0.074	2 - 8

Sumber: Bina Marga (1987)

2. Aspal

Aspal adalah campuran yang terdiri dari bitumen dan mineral dengan unsur persenyawaan *hidrogen (H)* dan *carbon (C)* yang masing-masing memiliki elektron yang bermuatan positif, aspal merupakan senyawa hidrokarbon, struktur molekul aspal sangatlah kompleks yang merupakan koordinasi dari tiga (3)

jenis molekul dasar hidrokarbon, yaitu alifatik siklis dan aromatik. Struktur molekul alifatik berbentuk linier ataupun tiga dimensi. Struktur molekul ini menyebabkan aspal kelihatan seperti minyak atau lilin (*wax*). Struktur molekul siklis adalah ikatan rantai karbon jenuh tiga dimensi yang mampu mengikat beberapa unsur maupun radikal. Sedangkan struktur molekul aromatik adalah flat datar merupakan ikatan karbon yang stabil, dapat saling berikatan membentuk susunan atau tumpukan satu sama lain. Struktur molekul ini memberikan bau yang khas pada aspal. Ikatan kimia (*inter molecule bonding*) pada aspal sangatlah lemah. Dengan pemanasan, ikatan tadi akan mudah lepas dan aspal menjadi cair dengan material asal terdiri dari (*parafin ,naphtene dan aromatic*), bahan ini merupakan bentuk dari kelompok-kelompok yang disebut sebagai berikut :

- a. *asphaltenese* yaitu membentuk butiran halus yang berdasarkan *aromatic/benzene structure* serta mempunyai berat molekul tinggi
- b. *oils* yaitu berbentuk cairan yang melarutkan *asphaltenese* serta mempunyai berat molekul rendah
- c. *resins* yaitu berbentuk cairan yang menyelubungi *asphaltenese* dan mempunyai berat molekul sedang serta selanjutnya gabungan dari *oils* dan *resins* serta sering juga disebut dengan *maltenese*.

Asphalt Institute, SP – 1 (1997), aspal sebagai material yang berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang yang berbentuk, jika dipanaskan sampai pada suhu temperatur tertentu, maka aspal dapat menjadi lunak dan cair, sehingga dapat membungkus partikel-partikel dari agregat.

Sukirman (1992), Kekentalan aspal dipengaruhi oleh temperatur, sehingga dengan naiknya temperatur maka kekentalan aspal akan menurun. Hal ini disebabkan oleh energi meningkat dan akan melarutkan *asphaltenese* kedalam *oil*.

Totomihardjo (2000), visikositas aspal akan dipengaruhi oleh temperatur (suhu) dari *solven*, hal ini disebabkan oleh energi meningkat, sehingga akan melarutkan *asphaltenese* kedalam *oil* dan air. Aspal ini berfungsi sebagai bahan perekat dan pengisi rongga dalam campuran panas (*hot mix*), sehingga sebagai dasar terjadinya aspal adalah sebagai berikut :

- a. Aspal alam (*lake asphalt* dan batu aspal)
- b. Aspal minyak
- c. Bahan dasar hewani (minyak tanah kasar, bahan bakar minyak, residu dan pengolahan *oil*)
- d. Bahan dasar nabati.

Totomihardjo (1994), menyatakan pengolahan minyak bumi akan menghasilkan aspal asli yang berupa cairan dan selanjutnya akan mempunyai kekerasan tertentu yang disebut aspal semen (*asphaltic cement*) atau aspal keras.

Klasifikasi aspal

Berdasarkan pertimbangan pemilihan aspal untuk bahan perkerasan jalan raya maka aspal dapat diklasifikasikan menurut :

- a. Penetrasi (aspal keras)
- b. Kekentalan (viskositas)
- c. Aspal cair (*cut back*)
- d. Aspal emulsi (aspal dingin)
- e. Tahap kinerja aspal (*performance grade asphalt*).

AASHTO (1998), menyatakan jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal. Angka penetrasi aspal menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin besar tingkat penetrasi aspal maka tingkat kekerasannya semakin rendah dan begitu sebaliknya semakin kecil tingkat penetrasi aspal maka tingkat kekerasannya semakin tinggi.

3. Karakteristik campuran agregat dan aspal

Karakteristik campuran agregat-aspal diukur melalui uji Marshall, dan hasil dari Marshall ini akan mendapatkan nilai *density*, *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids Filled With Asphalt (VFWA)*, *Voids In The Mix (VITM)*, *Stability*, *flow*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Karakteristik campuran mencakup :

a. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas bahan lapis perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan permukaan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk, seperti bergelombang (*wash board*), alur (*rutting*) dan *bleeding*.

b. Durabilitas (*durability*)

Durabilitas adalah keawetan dari lapis keras selama masa layan, akibat dari beban lalu lintas, pengaruh cuaca untuk waktu lama tanpa mengalami *cracking* dan *raveling* dalam jumlah yang besar. Faktor-faktor yang dapat mempertinggi nilai durabilitas adalah kadar aspal yang tinggi, gradasi agregat yang rapat, pemadatan yang baik, campuran batuan dan aspal yang rapat air serta kekerasan batuan pada lapisan perkerasan.

c. Workabilitas (*workability*)

Workabilitas adalah kemudahan pelaksanaan suatu campuran dalam pencampuran, penghamparan dan pemadatan, sehingga diperoleh hasil yang

memenuhi persyaratan. Faktor yang mempengaruhi workabilitas adalah gradasi agregat, temperatur campuran dan kandungan *filler* dalam campuran.

d. Kekesatan (*skid resistance*)

Kekesatan adalah tahan gesek yang diberikan oleh permukaan jalan, baik pada kondisi permukaan jalan basah atau permukaan jalan kering. Dan kekesatan ini dinyatakan dalam koefisien gesek antara permukaan jalan dan ban kendaraan. Kekesatan yang tinggi akan dapat dicapai dengan menggunakan agregat yang nilai mikrotekstur dan nilai bahan *chipping* serta mengurangi kadar aspal.

e. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*).

Ketahanan terhadap kelelahan adalah ketahanan lapis perkerasan dalam menerima beban berulang (*load repetition*) dari beban lalu lintas tanpa mengalami kelelahan berupa alur (*rutting*) dan keretakan. Nilai dari *fatigue resistance* dapat dinaikan dengan cara meningkatkan kualitas aspal, menambah kadar aspal, memepertebal lapisan permukaan dan memperkecil kandungan rongga campuran.

f. Fleksibilitas (*flexibility*)

Fleksibilitas adalah kemampuan lapis perkerasan untuk menyesuaikan adanya defleksi dan *bending* yang terjadi akibat beban lalu lintas serta pengaruh deformasi lapisan dibawahnya, seperti *base course*, *sub base course* dan *sub grade*. Fleksibilitas yang tinggi dapat dicapai dengan jalan menambah kadar aspal yang daktilitas tinggi dan mengurangi ketebalan lapisan perkerasan.

g. Kedap air (*impermeability*)

Kedap air adalah kemampuan permukaan jalan untuk menahan rembesan air kedalam lapis perkerasan, karena kedapan air kedalam permukaan perkerasan ini dicapai dengan cara menggunakan agregat yang bergradasi rapat (*dense graded*) dan menambah kadar aspal agar nilai rongga dalam campuran menjadi rendah.

h. Densifikasi (*densification*)

Densifikasi adalah kecepatan perubahan densitas dan *voids* campuran agregat aspal yang terjadi selama pelayanan dan dikaitkan dengan kemampuan perkerasan menahan beban dan pengaruh lingkungan. Sehingga densifikasi setelah pelaksanaan sulit diprediksi, untuk menghindarinya tergantung:

1. Jenis campuran agregat dan aspal
2. Metode pemadatan dilaboratorium
3. Kriteria perancangan campuran
4. Teknik pelaksanaan.

i. Kadar aspal Optimum

Pada penentuan kadar aspal optimum, dilakukan penentuan variasi kadar aspal yang dibutuhkan untuk setiap variasi benda uji. Adapun perkiraan kadar aspal optimum yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_b = 0,035 \times (\% CA) + 0,045 \times (\% FA) + 0,18 \times (\% FF) + C$$

dengan:

P_b = perkiraan kadar aspal optimum (%)

CA = agregat kasar (persentase material yang tertahan saringan no 8 terhadap berat total campuran

FA = agregat halus (persentase material yang lolos saringan no 8 tertahan pada saringan no 200 terhadap berat total agregat).

FF = bahan pengisi/*filler* (persentase material lolos pada saringan no 200 terhadap total material).

C = konstanta, untuk beton aspal 0,5 – 1,0

Dari nilai CA, FA dan FF pada penelitian ini nilai konstanta adalah 1,0, maka nilai kadar aspal tengah/idealnya adalah :

$$P_b = 0,035 \times (50) + 0,045 \times (44) + 0,18 \times (6) + 1$$

$$= 5,81 \% \text{ diambil } 6 \%$$

Untuk mendapatkan kadar aspal optimum, maka dibuat benda uji dengan rentang dua kadar aspal dibawah kadar aspal tengah/ideal dan dua rentang kadar aspal diatas kadar aspal tengah/ideal.

Aspal pada campuran berfungsi sebagai bahan perekat dan pengisi rongga pada butiran agregat, dan aspal yang digunakan sebagai bahan perekat dalam campuran adalah aspal keras AC 60 / 70 seperti terlihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8. Persyaratan aspal keras

No	Jenis Penelitian	Satuan	Persyaratan	
			Min	Mak
1	Penetrasi (25°C, 5dt, 100gr)	0,1 mm	60	79
2	Titik lembek (suhu 5°C)	° C	48	58
3	Titik nyala (327°C-350°C)	° C	200	-
4	Kehilangan berat (163°C, 5j)	% berat	-	0.8
5	Kelarutan dalam CCL 4 (Solubility 100 %)	% berat	99	-
6	Daktilitas (25°C, 5cm/menit)	Cm	100	-
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	% semula	54	-
8	Daktilitas setelah kehilangan berat	Cm	50	-
9	Berat jenis (suhu 25°C)	gr/cc	1	0

Sumber: Bina Marga (1987)

Ada beberapa persyaratan sifat campuran, proporsi komponen agregat dan fraksi rancangan campuran *Asphalt Treated Base (ATB)* berdasarkan spesifikasi Bina Marga (1991), kalau tanpa mempedomani persyaratan tersebut merupakan salah satu penyebab menimbulkan kerusakan lapisan perkerasan pada jalan, yaitu *Asphalt Treated Base (ATB)*. Persyaratan pada rancangan campuran aspal tersebut terdapat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9. Persyaratan sifat campuran aspal

No	Sifat Campuran	Satuan	ATB
1	Kadar aspal efektif	%	5.5
2	Kadar penyerapan aspal	%	1.7
3	Kadar aspal total minimum	%	6
4	Kadar rongga udara dari campuran padat (<i>VITM</i>)	%	2 - 6
5	<i>MO (Marshall Quotient)</i>	kg/mm	180 - 500
6	Stabilitas	kg/mm	> 750
7	Stabilitas <i>Marshall</i> tersisa setelah perendaman selama 24 jam, suhu 60 °c	%	75

Sumber: Bina Marga (1991)

Untuk mendapatkan gradasi agregat campuran *Asphalt Treated Base (ATB)* terlebih dahulu harus mempedomani proporsi komponen-komponen agregat dengan jalan melakukan percobaan-percobaan, karena gradasi agregat yang akan digunakan terlebih dahulu targetnya harus masuk kedalam *range* spesifikasi lolos pada grafik pembagian butiran agregat. Berdasarkan dari pembagian butiran agregat dan berpedoman fraksi rancangan, baru bisa dibuat perancangan bahan susun *ATB*.

Tabel. 3.10. Persyaratan proporsi campuran nominal

No	Komponen campuran	% berat total camp.
		ATB
1	Agregat kasar (saringan # 8)	50
2	Agregat halus (saringan # 8 - # 200)	50 – ff – b
3	Ukuran <i>filler</i> (saringan # 200)	4,5
4	Total kadar aspal	B
T o t a l		100

Sumber : Bina Marga (1991)

Dimana:

Ff : Persentase *filler*

b : Total kadar aspal.

4. Perendaman

a. Perendaman benda uji

Perendaman terhadap benda uji dengan maksud adalah untuk mengukur tingkat kerusakan campuran agregat dan aspal dari pengaruh air, cara ini dilakukan dengan menggunakan metode perendaman *Marshall* standar (*Marshall immersion*) untuk menggunakan metode perendaman *Marshall* standar ini pada perinsipnya membandingkan nilai stabilitas benda uji yang direndam selama 24 jam dalam suhu 60° C dengan nilai stabilitas benda uji tanpa direndam.

Siswo Soebrotho dkk (1999 - 2000), dalam metode perendaman benda uji yang dimodifikasi ini tidak ada batasan jumlah dan lama perendaman.

b. Indek perendaman

Indek perendaman nilainya tergantung pada jenis mutu lapis perkerasan dalam keadaan memadai. Bina Marga (1998), Indek perendaman diperoleh dari persentase perbandingan nilai stabilitas 24 jam dengan nilai stabilitas 0,5 jam. Bina Marga (1987), indek perendaman diperoleh dari persentase perbandingan nilai stabilitas 48 jam dengan nilai stabilitas 0,5 jam.

Apabila indek perendaman nilainya semakin besar terhadap campuran agregat-aspal maka tingkat durabilitas campuran semakin besar. Karena dengan semakin besar nilai indek perendaman akan menyebabkan penurunan stabilitas dan begitu juga semakin kecil nilai indek perendaman stabilitas akan mengindikasikan semakin tinggi durabilitas campuran agregat-aspal. Sebagai persyaratan minimal indek perendaman Bina Marga 1987 sisanya sebesar (75%) dan Bina Marga, *IRE* 1998 sisanya sebesar (80%).

Bina Marga (1987), besarnya nilai sisa (75%) indeks perendaman diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$IP = \left(\frac{\text{Nilai stabilitas } 48 \text{ jam}}{\text{Nilai stabilitas } 0,5 \text{ jam}} \times 100 \% \right) \quad (2.1)$$

Bina Marga (IRE, 1998), besarnya nilai sisa (80%) indeks perendaman diperoleh dengan menggunakan Persamaan :

$$IP = \left(\frac{\text{Nilai stabilitas } 24 \text{ jam}}{\text{Nilai stabilitas } 0,5 \text{ jam}} \times 100 \% \right) \quad (2.2)$$

5. Karakteristik Marshall pada *Asphalt Treated Base (ATB)*

Totomihardjo (2000), sebagai parameter analisis kerapatan rongga campuran pada agregat dan aspal dapat diukur melalui sistem uji *Marshall*, ini terdiri dari :

- a. *Density-voids analysis* (kadar aspal, *density*, *VMA*, *VFWA*, *VITM*)
- b. Pengujian *Marshall* (*stability*, *flow*, *MQ*)

Adapun uraian tentang propertis *Marshall* tersebut adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan memaksimumkan suatu benda uji campuran aspal dalam menahan beban sampai terjadi kelelahan plastis dan dinyatakan dalam satuan beban. Untuk stabilitas harus sesuai dengan persyaratan campuran aspal yang sudah ditentukan dalam spesifikasi yang dipakai. Apabila stabilitas tinggi harus menggunakan agregat yang bergradasi rapat (*dense graded*), permukaan yang kasar dan jenis agregat yang keras dan berbentuk kubikal. Aspal yang akan digunakan harus penetrasinya rendah dan cukup untuk ikatan antar agregat. Kalau stabilitas bisa dimaksimumkan berarti dapat menurunkan fleksibilitas gradasi rapat dan sifat saling mengunci antar agregat sehingga lapisan perkerasan

menjadi kaku, maka stabilitas terlalu tinggi akan menyebabkan perkerasan lebih kaku tetapi getas (*brittle*).

2. *Flow* (kelelehan)

Flow adalah besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan dan dinyatakan dalam satuan panjang. Apabila terjadi penurunan nilai *flow* ini disebabkan oleh kadar rongga dalam campuran besar, kurang pemadatan dan ini bisa menyebabkan penuan dini serta diikuti dengan retak-retak pada aspal. Nilai *flow* dapat dinaikkan dengan cara meningkatkan kualitas aspal, menambah kadar aspal, mempertebal lapisan permukaan dan memperkecil kandungan rongga dalam campuran serta memperhatikan gradasi agregat yang dipakai.

3. *Density* (kerapatan)

Density merupakan kerapatan dari campuran setelah dilakukan pemadatan dilaboratorium maupun dilapangan. Nilai *density* ini digunakan untuk membandingkan nilai kepadatan dari perkerasan baik dari laboratorium maupun dari lapangan dan sebagai batasannya $\geq 96\%$ terhadap kepadatan laboratorium. Tingkat kerapatan dari rongga perkerasan dipengaruhi oleh jumlah kadar aspal, kualitas dan jenis fraksi agregat dari bahan susun.

4. *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah kadar rongga dalam agregat dengan gradasi tertentu yang sudah dipadatkan termasuk ruangan yang terisi aspal dan dinyatakan dalam persen terhadap volume campuran. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh komposisi agregat, homogenitas berat jenis fraksi agregat, ukuran diameter terbesar dan ukuran diameter nominal.

VMA akan berubah apabila terjadi peningkatan berat volume (pemadatan lagi) dan

diameter butir terbesar meningkat.

5. *Voids In The Mix (VITM)*

VITM adalah merupakan persentase rongga udara dalam campuran yang telah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *VITM* akan menunjukkan besarnya rongga udara dalam campuran sehingga bersifat porous, air dan udara mudah memasuki rongga dalam campuran sehingga menyebabkan mudah teroksidasi lalu bisa mengurangi keawetan. Jika nilai *VITM* terlalu rendah maka akan menyebabkan deformasi plastis dan untuk idealnya perlu dipedomani range yang sudah ditentukan.

6. *Voids Filled With Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. *VFWA* dipengaruhi oleh jumlah kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadat, temperatur pemadat dan serapan air oleh agregat. Apabila *VFWA* terlalu besar maka akan menyebabkan akan menyebabkan aspal menjadi naik kepermukaan pada suhu tinggi dan begitu juga sebaliknya apabila *VFWA* terlalu kecil akan menyebabkan campuran akan menjadi porous dan akan lebih muda teroksidasi.

7. *Marshall Quotient (MQ)*

MQ adalah didapat dari hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan dan ini digunakan sebagai pendekatan tingkat kekakuan campuran, Apabila campuran perkerasan mempunyai nilai kelelahan rendah dan nilai stabilitas tinggi maka akan menunjukkan sifat kekakuan dan getas (*brittle*), dan apabila nilai kelelahan tinggi dan stabilitas rendah maka campuran cenderung plastis.

Totomihardjo (2000), proses persiapan benda uji dan karakteristik aspal panas (*Hotmix*) nilainya dapat diperoleh dengan data *density-voids analysis* dan sistem uji *Marshall*.

B. Analisis Kerapatan - Rongga (*Density - Void Analysis*)

Untuk mengetahui sifat atau karakteristik campuran panas agregat aspal digunakan prosedur yang termuat dalam SK SNI M – 58 – 1990 - 03, *Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*, atau AASHTO T245 - 74 dan ASTM D 1559 - 62T. Karakteristik *Marshall* yang diperoleh kemudian dianalisis dengan analisis stabilitas - *flow*, dan analisis kerapatan rongga yang didasarkan pada berat, tebal, dan volume benda uji dengan rumus sebagai berikut :

a. *Density* dan *void analysis*

Nilai *density* dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{Sub}} \quad (2.3)$$

dengan :

G_{mb} = Berat volume benda uji (*density*) (gr/cc)

W_D = Berat kering benda uji sebelum direndam air (gram)

W_{SSD} = Berat benda uji dalam keadaan SSD (gram)

W_{Sub} = Berat benda uji dalam air (gram)

b. *VMA (Void in Mineral Aggregate)*

Nilai *VMA* dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right) \quad (2.4)$$

dengan :

VMA = Persentase rongga udara dalam campuran agregat (%)

G_{mb} = Berat jenis curah (kering/*bulk*) campuran (gr/cc)

G_{sb} = Berat jenis curah (kering/*bulk*) campuran fraksi agregat (gr/cc)

P_s = Presentase agregat terhadap campuran

a. *VITM (Void in Total Mix)*

Nilai *VITM* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VITM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (2.5)$$

dengan :

VITM = Kadar rongga udara terhadap campuran (%)

G_{mb} = Berat volume benda uji (gr/cc)

G_{mm} = Berat jenis maksimum teoritis (gr/cc)

d. *VFWA (Void Filled With Asphalt)*

Nilai *VFWA* dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VFWA = 100 \times \left(\frac{VMA - VITM}{VMA} \right) \quad (2.6)$$

VFWA = Kadar rongga udara terisi aspal (%)

VITM = Kadar rongga udara terhadap campuran padat (%)

VMA = Kadar rongga udara terhadap campuran agregat (%)

e. Penyerapan aspal (*Asphalt Absorbtion*)

Nilai penyerapan aspal dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{ba} = 100 \times \left(\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \right) \times G_b \quad (2.7)$$

dengan :

P_{ba} = Penyerapan aspal (%) persentase total

G_{sb} = Berat jenis bulk agregat (gr/cc)

G_{sc} = Berat jenis efektif agregat (gr/cc)

G_b = Berat jenis aspal (gr/cc)

C. Analisis Stabilitas - *Flow*

a. Stabilitas (*Stability*)

Nilai stabilitas benda uji didapat dari hasil pembacaan arloji stabilitas, pada saat pengujian *Marshall* dengan satuan kg. Hasil pembacaan dicocokkan dengan kalibrasi *proving ring*, kemudian nilai stabilitas dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji. Nilai stabilitas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$o = n \times \text{koreksi tebal benda uji} \quad (2.8)$$

dengan :

o = Nilai stabilitas

n = $p \times$ kalibrasi *proving ring* (kg)

p = Nilai pembacaan arloji stabilitas

b. Kelelahan (*flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal yang terjadi mulai saat pembebanan sampai nilai stabilitas menurun, nilai *flow* diperoleh dari pembacaan arloji *flow* pada saat melakukan pengujian *Marshall*.

c. *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang menunjukkan tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Nilai *MQ* yang

besar menunjukkan kekakuan lapis perkerasan tinggi. Nilai MQ yang kecil menunjukkan lapis perkerasan bersifat plastis, nilai MQ dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$MQ = \frac{\text{Nilai Stabilitas (kg)}}{\text{Nilai Flow (mm)}} \quad (2.9)$$

dengan :

$$MQ = \text{Marshall Quotient (kg/mm)}$$

D. Berat Jenis Agregat

Menurut *Asphalt Institute* (1993), perhitungan berat jenis agregat pada benda uji dapat dihitung sebagai berikut :

- a) Berat jenis kering agregat (*bulk specific gravities aggregate*)

Berat jenis kering agregat dinyatakan dalam berat jenis curah untuk agregat yang merupakan campuran berbagai fraksi agregat yaitu agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (2.10)$$

dengan :

$$G_{sb} = \text{Berat jenis bulk total agregat (gr/cc)}$$

$$P_1, P_2, P_n = \text{Persentase masing-masing agregat (\%)}$$

$$G_1, G_2, G_n = \text{Berat jenis bulk masing-masing agregat (gr/cc)}$$

- b) Berat jenis semu agregat (*apparent specific gravity of aggregate*)

Berat jenis semu agregat merupakan campuran berbagai fraksi agregat yaitu agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

kasar, agregat halus dan *filler*. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{1a}} + \frac{P_2}{G_{2a}} + \dots + \frac{P_n}{G_{na}}} \quad (2.11)$$

dengan :

G_{sa} = Berat jenis semu total agregat (gr/cc)

P_1, P_2, P_n = Persentase masing-masing agregat (%)

G_{1a}, G_{2a}, G_{na} = Berat jenis semu masing-masing agregat (gr/cc)

c) Berat jenis efektif agregat (*effective specific gravity of aggregate*)

Berat jenis efektif sulit untuk diukur sehingga belum adanya standar untuk mengukur. Selama ini nilainya diperkirakan dengan pendekatan persamaan sebagai berikut :

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad (2.12)$$

dengan :

G_{se} = Berat jenis efektif total agregat (gr/cc)

d) Berat jenis maksimum teoritis total agregat (gr/cc)

Berat jenis maksimum teoritis diperlukan untuk menghitung rongga udara masing-masing kadar aspal, yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (2.13)$$

dengan :

G_{mm} = Berat jenis maksimum teoritis campuran (gr/cc)

P_{mm} = Persentase berat total campuran (gr/cc)

P_s = Kadar agregat, persentase terhadap berat total campuran (%)

G_{se} = Berat jenis efektif agregat (gr/cc)

E. Hipotesis

Asphalt Treated Base (ATB) merupakan sebagai lapisan *base course* pada perkerasan jalan raya dengan komposisi terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal. Dengan gregat halus pasir Pulau Rupas yang dipakai, sebagai bahan susun seperti diatas dapat dilakukan dugaan awal yaitu :

- Pasir Pulau Rupas (pasir silika) setelah dilakukan penelitian di laboratorium, butirannya dapat memenuhi spesifikasi gradasi.
- Pasir Pulau Rupas (pasir silika) tidak dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus dalam karakteristik campuran *ATB*, disebabkan kelekatan butiran dengan aspal buruk. Dari penelitian menunjukkan bahwa kandungan silika yang terdapat pada pasir memiliki elektron positif, aspal juga memiliki elektron positif sehingga saling menolak.
- Pasir Pulau Rupas (pasir silika) yang digunakan sebagai agregat pengganti hanya memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga (1991) untuk jenis lalu lintas sedang sampai ringan.