

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Jalan merupakan infrastruktur dasar dan utama dalam menggerakkan roda perekonomian nasional dan daerah, mengingat penting dan strategisnya fungsi jalan untuk mendorong distribusi barang dan jasa sekaligus mobilitas penduduk. Ketersediaan jalan adalah prasyarat mutlak bagi masuknya investasi ke suatu wilayah. Jalan memungkinkan seluruh masyarakat mendapatkan akses pelayanan pendidikan, kesehatan dan pekerjaan. Untuk itu diperlukan perencanaan struktur perkerasan yang kuat, tahan lama dan mempunyai daya tahan tinggi terhadap deformasi plastis yang terjadi.

Kerusakan jalan di Indonesia umumnya disebabkan oleh pembebanan yang terjadi berlebihan (*overload*) atau disebabkan oleh *Physical Damage Factor (P.D.F.)* berlebih, banyaknya arus kendaraan yang lewat (repetisi beban) sebagai akibat pertumbuhan jumlah kendaraan yang cepat terutama kendaraan komersial dan perubahan lingkungan atau oleh karena fungsi drainase yang kurang baik. Ketiga faktor penyebab utama kerusakan perkerasan jalan ini menuntut penggunaan material untuk perkerasan jalan (beton aspal) dengan kualitas yang lebih tinggi, yang berupa material agregat sebagai bahan pengisi maupun aspal sebagai bahan pengikat.

Pada saat ini, Indonesia sudah menggunakan lapis perkerasan campuran beraspal panas (*hotmix*) baik untuk kegiatan peningkatan maupun pembangunan jalan baru. Campuran beraspal panas adalah campuran yang terdiri atas kombinasi agregat yang dicampur dengan aspal pada suhu tinggi. Pencampuran dilakukan di Unit Pencampur Aspal (UPA) sedemikian rupa sehingga permukaan agregat terselimuti aspal dengan seragam. Salah satu jenis campuran beraspal panas yang sering digunakan adalah Laston (Lapis Aspal Beton/ AC/ *Asphalt Concrete*).

Laston memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi sehingga penempatan langsung di atas lapisan seperti lapisan aus (*AC-Wearing Course*) membuat

lapisan ini rentan terhadap kerusakan akibat temperatur yang tinggi dan beban lalu lintas berat. Jenis kerusakan yang sering terjadi pada Laston adalah pelepasan butiran dan retak. Di samping hal tersebut, kerusakan jalan juga karena terlalu tingginya viskositas aspal keras saat pencampuran dengan agregat akibat tidak berjalannya pengendalian mutu di AMP sehingga temperatur aspal tidak terkontrol. Dari permasalahan diatas, perlu dilakukan penelitian dengan melakukan uji laboratorium tentang “Kinerja Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal BNA *Blend 75/25* pada Campuran Aspal Panas AC-WC“ dengan mengacu pada Spesifikasi beton aspal campuran panas 2010.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kinerja aspal Pertamina Pen 60/70 dan *Buton Natural Asphalt* (BNA *Blend 75/25*) pada campuran aspal panas AC-WC.

1.3 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini dapat diperoleh suatu hasil penelitian yang dapat memberikan masukan kepada penanggung jawab pembina jalan dan semua pihak yang terkait dengan pekerjaan beton aspal campuran panas, terutama tentang desain campuran aspal panas dengan mutu perkerasan yang lebih tinggi, menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan *Buton Natural Asphalt* (BNA *Blend 75/25*) terhadap nilai karakteristik *Marshall* dari Laston AC-WC.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi dengan tujuan agar dapat dilakukan penelitian yang efektif dan tidak menyimpang jauh dari pokok permasalahan yang diinginkan.

Adapun ruang lingkup penelitian ini, dibatasi pada :

- a. Bahan baku untuk campuran beraspal panas yang dipakai dalam penelitian ini, dari :

- (a). Aspal Pertamina Pen 60/70 dan *Buton Natural Asphalt* (BNA Blend 75/25)
- (b). Agregat : Pasir dari Muntilan, batu pecah dan abu batu dari mesin pemecah batu AMP PT. Adhi Karya
- (c). Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah dari Semen Portland
- b. Perencanaan campuran *Job Mix Aggregate Formula (JMAGF)* di laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang, untuk lapis aus Laston AC-WC dengan mengacu pada Spesifikasi Beton Aspal Campuran Panas tahun 2010.
- c. Uji propertis agregat dan aspal
- d. Uji sifat-sifat *Marshall Test*, meliputi : Stabilitas *Marshall*, Pelelehan *Marshall*, *VFA*, *VMA*, *VIM*, Kepadatan (*density*) dan Hasil bagi *Marshall (Marshall Quotient)*.
- e. Analisis Kimia pada aspal Pen 60/70 dan *BNA Blend 75/25* tidak diteliti.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan tesis berdasarkan Buku Pedoman Penulisan dan Penyusunan Tesis Magister Teknik Sipil Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, yang terdiri dari 5 bab, yaitu : pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, analisis dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran, dengan uraian sebagai berikut :

- a. Bab I : Pendahuluan
Merupakan awal penyusunan tesis, dalam bab ini menjelaskan arah judul proposal tesis. Bab ini berisi latar belakang termasuk permasalahan yang akan dibahas, tujuan, manfaat, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.
- b. Bab II : Tinjauan Pustaka
Berisi teori-teori yang berhubungan dengan topik penelitian yang digunakan sebagai referensi atau acuan penelitian, seperti sifat-sifat

aspal, agregat, dan sifat beton aspal. Dalam bab ini, tinjauan pustaka diuraikan secara sistematis sampai dengan dasar-dasar perhitungan berdasarkan metode pengujian *Marshall*.

c. Bab III : Metodologi Penelitian

Menjelaskan tentang tahapan penelitian, metode penelitian dan uraian mengenai metode pengujian serta pengambilan sampel untuk memperoleh data penelitian. Disamping itu, bab ini berisi pula uraian tentang pengolahan data dan hipotesis yang diajukan.

d. Bab IV : Hasil Penelitian dan Pembahasan

Berisi hasil penelitian yang ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik atau gambar, berikut analisis dan pembahasan setiap hasil yang diperoleh.

e. Bab V : Penutup

Bab ini berisi kesimpulan yang merupakan rangkuman dari hasil pembahasan secara rinci, dan saran yang didasarkan dari hasil penelitian serta adanya harapan penelitian lanjutan, mengingat batasan-batasan pada penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Campuran beraspal panas adalah campuran yang terdiri atas kombinasi agregat yang dicampur dengan aspal sedemikian rupa sehingga permukaan agregat terselimuti aspal dengan seragam. Dalam mencampur dan mengerjakannya, keduanya dipanaskan pada temperatur tertentu.

Aspal Beton (AC) adalah campuran untuk perkerasan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*) dan aspal dengan proporsi tertentu. Lapisan ini harus bersifat kedap air, memiliki nilai struktural dan awet. Lapisan Aspal Beton (*Asphalt Concrete*) dapat dibagi kedalam 3 macam campuran sesuai dengan fungsinya, yaitu (Sukirman,2003) :

- a. Laston Lapis aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course, AC-WC*)
- b. Laston Lapis Permukaan Antara (*Asphalt Concrete-Binder Course, AC-BC*)
- c. Laston Lapis Fondasi (*Asphalt Concrete-Base, AC-Base*)

Laston sebagai lapis aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course, AC-WC*) merupakan lapis yang mengalami kontak langsung dengan beban dan lingkungan sekitar, maka diperlukan perencanaan dari beton aspal AC-WC yang sesuai dengan spesifikasi sehingga lapis ini bersifat kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai stabilitas yang tinggi.

Laston sebagai lapis permukaan antara (*Asphalt Concrete-Binder Course, AC-BC*) adalah :

- a. beton aspal sebagai lapis pondasi dan pengikat (*binder*)
- b. lapis ini lebih kaya aspal (sekitar 5-6%) dibanding dengan lapis di bawahnya
- c. berfungsi secara struktural sebagai bagian dari lapis perkerasan jalan
- d. umumnya bersifat tahan beban

- e. mampu menyebarkan beban roda kendaraan ke lapisan di bawahnya
- f. diusahakan agar kedap air untuk mempersulit air permukaan yang tembus lewat retak-retak atau lubang-lubang permukaan yang tidak segera ditambal, hingga air tidak mudah dapat mencapai tanah dasar.

Laston sebagai lapis pondasi (*Asphalt Concrete-Base Course, AC-Base*) adalah beton aspal yang berfungsi sebagai pondasi atas (*base course*). Aspal di sini sebagai pelicin pada waktu pemadatan (biasanya sekitar 4-5%), sehingga pemadatan mudah tercapai. Lapisan ini tidak perlu terlalu kedap air. Fungsi lapis pondasi adalah untuk menahan gaya lintang akibat beban roda kendaraan.

2.2 Aspal

Aspal adalah suatu bahan bentuk padat atau setengah padat berwarna hitam sampai coklat gelap, bersifat perekat (*cementious*) yang akan melembek dan meleleh bila dipanasi. Aspal tersusun terutama dari sebagian besar bitumen yang kesemuanya terdapat dalam bentuk padat atau setengah padat dari alam atau hasil pemurnian minyak bumi, atau merupakan campuran dari bahan bitumen dengan minyak bumi atau derivatnya (ASTM, 1994).

Bitumen (*The Asphalt Institute, 1993*) adalah suatu campuran dari senyawa hidrokarbon yang berasal dari alam atau dari suatu proses pemanasan, atau berasal dari kedua proses tersebut, kadang-kadang disertai dengan derivatnya yang bersifat non logam, yang dapat berbentuk gas, cairan, setengah padat atau padat, dan campuran tersebut dapat larut dalam Karbondisulfida (CS_2).

Aspal yang dipakai dalam konstruksi jalan mempunyai sifat fisis yang penting, antara lain : kepekatan (*consistency*), ketahanan lama atau ketahanan terhadap pelapukan oleh karena cuaca, derajat pengerasan, dan ketahanan terhadap pengaruh air.

Dalam penelitian ini menggunakan dua jenis aspal, yaitu :

a. Aspal minyak

Aspal minyak adalah kumpulan bahan-bahan sisa dari proses destilasi minyak bumi di pabrik kilang minyak. Bahan sisa ini diproses secara ekonomis untuk dapat menghasilkan produk-produk yang dapat dijual. Residu padat dan bahan cair lain dicampur, biasanya akan dipaket dalam empat kelas, yaitu kelas Penetrasi (Pen 40/50, Pen 60/70, Pen 80/70 dan Pen 80/100). Pada penelitian ini menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70.

b. Aspal modifikasi

Aspal modifikasi adalah aspal minyak ditambah dengan bahan tambah/*additive* untuk meningkatkan kinerja dari aspal. Bahan tambah yang digunakan bisa dari asbuton yang diproses, elastomer alam (latex) maupun elastomer sintetis. Aspal modifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal minyak ditambah dengan asbuton hasil ekstraksi.

Berbagai upaya telah dilakukan agar kualitas jalan mampu mendukung kondisi lingkungan dan tuntutan dari pengguna jalan agar jalan mempunyai stabilitas dinamis yang lebih tinggi. Maka dilakukan penggunaan bahan aspal modifikasi dengan menggunakan Asbuton. Asbuton yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Buton Natural Asphalt (BNA Blend 75/25)*, adalah aspal modifikasi campuran antara aspal minyak dan BNA dengan komposisi Aspal Pertamina 60/70 sebanyak 75% dan BNA sebanyak 25%. Kedua material tersebut dicampur/*blending*, selanjutnya dilakukan proses *quality control*.

Properti Aspal Keras dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Propertis Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi		
				A ⁽¹⁾	B	C
				Asbuton yg diproses	Elastomer Alam (Latex)	Elastomer Sintetis
1.	Penetrasi pada 25°C (dmm)	SNI 06-2456-1991	60-70	40-55	50-70	Min.40
2.	Viskositas 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	385	385 – 2000	≤ 2000 ⁽⁵⁾	≤ 3000 ⁽⁵⁾
3.	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥48	-	-	≥54
4.	Indeks Penetrasi ⁴⁾	-	≥ -1,0	≥ - 0,5	≥ 0.0	≥ 0,4
5.	Duktilitas pada 25°C, (cm)	SNI-06-2432-1991	≥100	≥ 100	≥ 100	≥ 100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI-06-2433-1991	≥232	≥232	≥232	≥232
7.	Kelarutan dlm Toluene (%)	ASTM D5546	≥99	≥ 90 ⁽¹⁾	≥99	≥99
8.	Berat Jenis	SNI-06-2441-1991	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0
9.	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-	≤2,2	≤2,2	≤2,2
Pengujian Residu hasil TFOT atau RTFOT :						
10.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0.8 ²⁾	≤ 0.8 ²⁾	≤ 0.8 ³⁾	≤ 0.8 ³⁾
11.	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54	≥ 54	≥ 54	≥54
12.	Indeks Penetrasi ⁴⁾	-	≥ -1,0	≥ 0,0	≥ 0,0	≥ 0,4
13.	Keelastisan setelah Pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-	-	≥ 45	≥ 60
14.	Duktilitas pada 25°C (cm)	SNI 062432-1991	≥ 100	≥ 50	≥ 50	-
15.	Partikel yang lebih halus dari 150 micron (µm) (%)			Min. 95 ⁽¹⁾	Min. 95 ⁽¹⁾	Min. 95 ⁽¹⁾

Catatan :

- Hasil pengujian adalah untuk bahan pengikat yang diekstraksi dengan menggunakan metoda SNI 2490:2008. Kecuali untuk pengujian kelarutan dan gradasi mineral dilaksanakan pada seluruh bahan pengikat termasuk kadar mineral.
- Untuk pengujian residu aspal Tipe I, Tipe II – A dan Tipe II – B residunya didapat dari pengujian TFOT sesuai dengan SNI – 06 -2440 – 1991.
- Untuk pengujian residu aspal Tipe II-C dan Tipe II-D residunya didapat dari pengujian RTFOT sesuai dengan SNI-03-6835-2002.

- Nilai Indeks Penetrasi menggunakan rumus ini :

$$\text{Indeks Penetrasi} = (20-500A) / (50A+1)$$

$$A = [\log (\text{Penetrasi pada Temperatur Titik lembek}) - \log (\text{penetrasi pada } 25^{\circ}\text{C})] / (\text{titik lembek} - 25^{\circ}\text{C})$$

- Pabrik pembuat bahan pengikat Tipe II dapat mengajukan metoda pengujian alternatif untuk viskositas bilamana sifat-sifat elastomerik atau lainnya didapati berpengaruh terhadap akurasi pengujian penetrasi, titik lembek atau standar lainnya. Metoda pengujian viskositas Brookfield harus digunakan untuk Tipe II D.
- Pengujian dilakukan pada aspal dasar dan bukan pada aspal yang telah dimodifikasi. Viskositas di uji juga pada temperatur 100°C dan 160°C untuk tipe I, untuk tipe II pada temperatur 100 °C dan 170 °C.

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2010

2.3 Agregat

Agregat adalah partikel-partikel butiran mineral yang digunakan dengan kombinasi berbagai jenis bahan perekat membentuk massa beton atau sebagai bahan dasar jalan, *backfill*, dan lainnya (Atkins, 1997). Sifat-sifat agregat galian yang dihasilkan, tergantung dari jenis batuan asal. Ada 3 jenis batuan asal, yaitu batuan beku, *sedimen* dan *metamorf*. Batuan beku merupakan batuan yang terbentuk dari pendinginan magma cair yang membeku. Batuan beku yang berbutir kasar seperti *granite* terbentuk dari magma cair yang membeku secara perlahan. Berbutir halus seperti batuan beku *basalt* yang terbentuk dengan pendinginan lebih cepat dan berlapis. Batu *sedimen* terbentuk dari pemadatan deposit mineral sedimen dan secara kimia di dasar laut. Beberapa jenis batuan *sedimen* dengan komposisi yang terkandung : batu kapur (*Calcium carbonate*), dolomite (*Calcium carbonate and magnesium carbonate*), serpihan tanah liat (*Clay*), *sandstone* (*Quartz*), *gypsum* (*Calcium sulphate*), konglomerat (*Gravel*), chert (*Fine sand*). Batuan *metamorf* adalah batu-batu sedimen yang telah berubah (*metamorfosis*) oleh karena arah tekanan yang hebat. Contohnya adalah : *Slate* (*Shale*), *marble* (*Lime stone*), *Quartzite* (*Sandstone*), *Gneiss* (*Granite*) (Atkins, 1997).

Agregat sebagai bahan bangunan, dapat dikelompokkan dalam 2 kelompok, yaitu anorganik dan organik dan dapat dibagi dalam 2 golongan, yaitu agregat alam dan buatan. Agregat anorganik alam, seperti : tanah yang bersifat trass / pozolan, pasir dan batu alam, batu apung, serat asbes, sedang anorganik buatan, meliputi : terak tanur tinggi, A.L.W.A. (*Artificial Light Weight Aggregate*), *fly ash* dan sisa bakaran batu bara.

Agregat yang dipergunakan dalam pembuatan aspal beton, secara umum mempunyai persyaratan terhadap sifat-sifatnya, antara lain : susunan butir (*gradasi*), ketahanan terhadap gesekan / ausan, kekekalan (*soundness*), kemurnian dan kebersihan (*cleanliness*), gesekan internal dan sifat permukaannya (*surface texture*), sedangkan berdasarkan kelompok agregat akan lebih spesifik sesuai jenisnya apakah agregat kasar, halus atau *filler*.

Sifat fisik dan mekanis agregat dan hubungannya dengan kinerja campuran, antara lain :

a. Gradasi

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, merupakan hal penting dalam menentukan stabilitas perkerasan, berpengaruh terhadap besarnya volume rongga (*void*), *workability* dan *Stabilitas* dalam campuran.

Gradasi agregat merupakan campuran dari berbagai diameter butiran agregat yang membentuk susunan campuran tertentu, ditentukan melalui analisis saringan butiran (*grain size analysis*) dengan menggunakan 1 set saringan (dengan ukuran saringan 19,1 mm; 12,7 mm; 9,52 mm; 4,76 mm; 2,38 mm; 1,18 mm; 0,59 mm; 0,149 mm; 0,074 mm) dimana saringan paling kasar diletakkan paling atas dan saringan paling halus diletakkan paling bawah, dimulai dengan pan dan diakhiri dengan tutup (Sukirman, 1999)

Gradasi agregat secara umum dapat dikelompokkan, sebagai berikut :

a). Gradasi seragam (*uniform graded*),

Adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Campuran beton aspal yang dibuat dari agregat bergradasi ini memiliki sifat banyak rongga udara (*void*), permeabilitas yang tinggi, stabilitas rendah dan berat isi (*density*) yang kecil

b). Gradasi rapat (*dense graded/ Well Graded*)

Gradasi agregat yang ukuran butirnya dari kasar sampai dengan halus terdistribusi secara merata dalam satu rentang ukuran butir atau sering disebut dengan gradasi menerus. Campuran dengan

gradasi ini akan memiliki stabilitas tinggi, sifat kedap air bertambah dan memiliki berat isi lebih besar

c). Gradasi senjang (*gap graded/ poorly graded*)

Adalah distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali

b. Ukuran Maksimum

Agregat dalam campuran beton aspal terdistribusi dari yang berukuran besar sampai dengan yang terkecil. Ukuran maksimum butir agregat dapat dinyatakan dengan mempergunakan :

- a). Ukuran maksimum agregat, yang dibatasi sebagai ukuran saringan terkecil dimana agregat yang lolos saringan tersebut sebanyak 100%.
- b). Ukuran nominal maksimum, yang dibatasi sebagai ukuran saringan terbesar dimana agregat yang tertahan diatas saringan tersebut sebanyak tidak lebih dari 10%.

c. Kebersihan Agregat (*cleanlines*)

Kebersihan agregat ditentukan oleh banyaknya bahan *impurities* yang ada pada agregat seperti butiran yang lewat saringan no. 200, yaitu adanya lempung, lanau, ataupun adanya tumubuh-tumbuhan pada campuran agregat. Apabila agregat mengandung butiran halus melebihi dari ketentuan, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah sebagai akibat dari butiran halus tersebut menghalangi ikatan aspal dengan agregat sehingga dapat berakibat nilai stabilitas rendah dan mudah lepasnya ikatan antara aspal dengan agregat. Untuk mengukur kebersihan agregat ini, dilakukan pengujian dengan metode *Sand Equivalent Test*.

d. Kekerasan (*Toughness*)

Butir agregat harus keras dan kuat, mampu menahan gaya keausan (*abrasi*), *degradasi* selama proses produksi (penimbunan, penghamparan, pemadatan) dan pelayanan terhadap beban lalu lintas, proses kimiawi (kelembaban, kepanasan, perubahan suhu) sepanjang hari. Kekuatan agregat terhadap beban yang bekerja merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi. Metode uji yang dipergunakan adalah uji abrasi dengan metode *Los Angeles Abrasion Test* dan uji kehancuran dengan metode *Rudeloff (Crushing Test)*. Sedang secara kimiawi dilakukan pengujian dengan menggunakan larutan *Natrium Sulfat* atau *Magnesium Sulfat*.

e. Bentuk Butir dan Tekstur Agregat

Bentuk butir agregat secara umum dapat ditemui dalam bentuk bulat, lonjong, pipih, kubus, tak beraturan, atau mempunyai bidang pecah. Bentuk butir dapat mempengaruhi sifat *workability* campuran perkerasan pada waktu penghamparan dan pemadatan sehingga diperoleh kekuatan struktur perkerasan yang dapat memenuhi persyaratan selama umur pelayanannya.

Sedang tekstur agregat adalah suatu kondisi yang menunjukkan susunan permukaan butir agregat, yang dibedakan dalam kondisi licin, kasar, atau berpori. Agregat yang berpermukaan licin mempunyai sifat akan menghasilkan daya kunci antar butir agregat rendah dan mempunyai tingkat kestabilan yang rendah dan sebaliknya agregat yang mempunyai permukaan kasar, mempunyai gaya gesek yang baik, ikatan antar butir yang kuat sehingga dapat mampu menahan deformasi akibat beban lalu lintas. Agregat berpori (*porous*), banyak bersifat porous dan mempunyai tingkat kekerasan rendah sehingga mudah pecah dan terjadi *degradasi*.

f. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dengan berat volume air. Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume yang besar atau berat yang ringan. Disamping itu dapat diperkirakan bahwa agregat dari batuan yang mempunyai berat volumenya tinggi, kekuatannya juga tinggi, meskipun tidak selalu demikian.

g. Daya Lekat Aspal terhadap Agregat (*Affinity for Asphalt*)

Daya lekat aspal terhadap agregat dibedakan dalam 2 kondisi, yaitu :

- a). *Hydrophilic*, yaitu sifat agregat yang mudah diresapi air, hal ini dapat mengakibatkan agregat tidak mudah dilekati aspal dan ikatan aspal dengan agregat mudah lepas.
- b). *Hydropobic*, yaitu sifat agregat yang tidak mudah terikat dengan air, tetapi mudah terikat dengan aspal.

2.3.1 Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 8 (= 2,36 mm) (Sukirman, 2003)

Agregat kasar untuk beton aspal, harus memenuhi persyaratan, antara lain :

- a. Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan 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 2.2**.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	Maks.12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maks.40%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min.95%
Angularitas	-	95/90(*)
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. Prosedur pengujian angularitas agregat kasar disajikan pada Lampiran 5.1.

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

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2010

- b. Pembatasan lolos saringan No. 200 < 1%, pada saringan kering karena agregat kasar yang dilekati lumpur tidak dapat dipisahkan pada waktu pengeringan sehingga tidak dapat dilekati aspal.
- c. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti dalam **Tabel 2.2**

2.3.2 Agregat halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 8 (= 2,36 mm) (Sukirman, 2003).

Agregat halus untuk beton aspal, harus memenuhi persyaratan, sebagai berikut :

- a. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) sesuai SNI 03-6819-2002
- b. Pasir boleh digunakan dalam campuran beraspal. Persentase maksimum yang diizinkan untuk laston (AC) 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. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 70% untuk AC bergradasi Kasar
Material Lolos Ayakan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423:2008	Maks. 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10%)	AASHTO TP-33 atau	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan \geq 10%)	ASTM C1252-93	Min 40

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2010

Persyaratan agregat secara umum menurut Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010, Departemen Pekerjaan Umum agregat halus untuk beton aspal, harus memenuhi persyaratan, sebagai berikut :

- a. Penyerapan air oleh agregat maksimum 3%.
- b. Berat jenis (*bulk specific gravity*) agregat kasar dan halus minimum 2,5 dan perbedaannya tidak boleh lebih dari 0,2.

2.3.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi mineral adalah abu mineral tembus ayakan No.200 mesh. Jenis bahan *filler* secara umum terdiri dari : debu batu kapur, debu *dolomit*, semen *portland*, abu layang atau *fly ash*, atau bahan mineral tidak plastis lainnya.

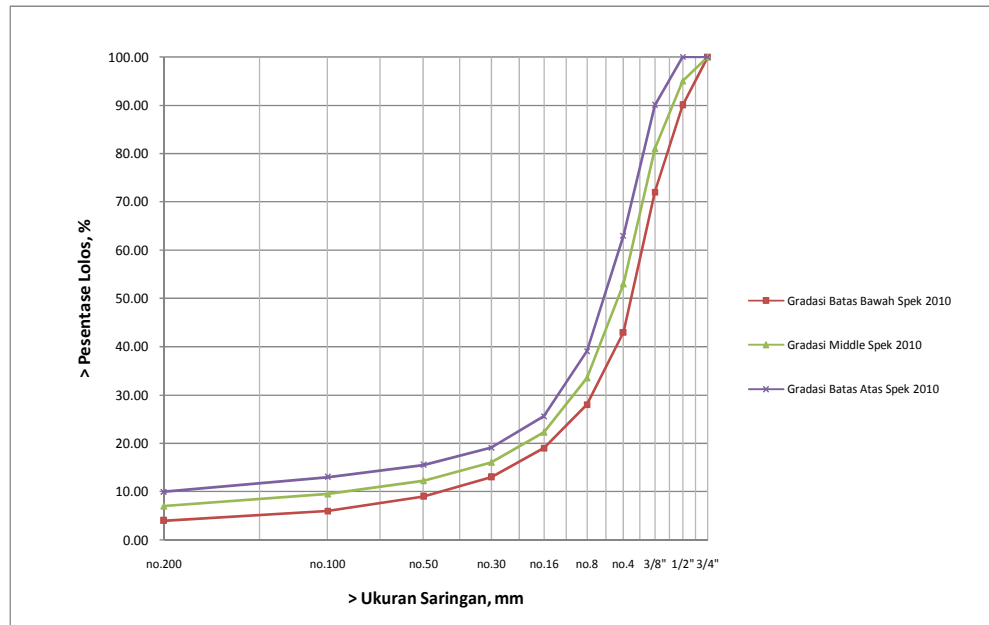
Berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010, Departemen Pekerjaan Umum, bahan pengisi (*Filler*) untuk beton aspal, mempunyai ketentuan bahwa bahan pengisi yang ditambahkan harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki dan tidak menggumpal. Debu batu (*stone dust*) dan bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan serta bila diuji dengan penyaringan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.

2.4 Gradasi Campuran AC-WC

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan sifat karakteristik perkerasan. Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam campuran. Agregat campuran yang terdiri dari agregat berukuran sama akan berongga atau berpori banyak, karena tak terdapat agregat berukuran lebih kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi. Sebaliknya, jika campuran agregat terdistribusi dari agregat berukuran besar sampai kecil secara merata, maka rongga atau pori yang terjadi sedikit. Hal ini disebabkan karena rongga yang terbentuk oleh susunan agregat berukuran besar, akan diisi oleh agregat berukuran lebih kecil (Sukirman, 2003).

Agregat bergradasi baik adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir. Agregat bergradasi baik disebut pula agregat bergradasi rapat. Campuran agregat bergradasi baik mempunyai pori sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi (Sukirman, 2003).

Dalam memilih gradasi agregat campuran, kecuali untuk gradasi Latasir dan Laston, maka untuk campuran jenis Laston perlu diperhatikan Kurva *Fuller*, Titik Kontrol dan Zona Terbatas Gradasi (Departemen Pekerjaan Umum, 2000b). Pada Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010, beton aspal campuran panas menetapkan gradasi dengan 2 (dua) spesifikasi khusus yaitu target gradasi berada dalam batas-batas titik kontrol dan menghindari daerah penolakan (Lihat **Tabel 2.4** atau **Gambar 2.1**).



Gambar 2.1 Target Gradasi Spesifikasi 2010 Campuran Laston AC-WC

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2010

Tabel 2.4 Gradasi Agregat untuk campuran aspal beton

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran					
	Laston (AC)					
	Gradasi Halus			Gradasi Kasar ¹		
	WC	BC	Base	WC	BC	Base
37,5			100			100
25		100	90-100		100	90-100
19	100	90-100	73-90	100	90-100	73-90
12,5	90-100	74-90	61-79	90-100	71-90	55-76
9,5	72-90	64-82	47-67	72-90	58-80	45-66
4,75	54-69	47-64	39,5-50	43-63	37-56	28-39,5
2,36	39,1-53	34,6-49	30,8-37	28-39,1	23-34,6	19-28,6
1,18	31,6-40	28,3-38	24,1-28	19-25,6	15-22,3	12-18,1
0,600	23,1-30	20,7-28	17,6-22	13-19,1	10-16,7	7-13,6
0,300	15,5-22	13,7-20	11,4-16	9-15,5	7-13,7	5-11,4
0,150	9-15	4-13	4-10	6-13	5-11	4,5-9
0,075	4-10	4-8	3-6	4-10	4-8	3-7

Catatan :

1. Laston (AC) bergradasi kasar dapat digunakan pada daerah yang mengalami deformasi yang lebih tinggi dari biasanya seperti pada daerah pegunungan, gerbang tol atau pada dekat lampu lalu lintas.
2. Untuk semua jenis campuran rujuk Tabel 6.3.2.1 (b) untuk ukuran agregat nominal maksimum pada tumpukan bahan pemasok dingin.

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2010

2.5 Persyaratan dan Analisis Campuran Beton Aspal Campuran Panas (AC)

Secara umum berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010, Departemen Pekerjaan Umum, campuran beton aspal campuran panas terdiri dari 3 macam, antara lain :

- a. Beton aspal lapis aus atau *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*, dengan agregat ukuran butir maksimum $\frac{3}{4}$ inchi atau 19 mm.
- b. Beton aspal lapis antara atau *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*, dengan agregat ukuran butir maksimum 1 inchi atau 25,4 mm
- c. Beton aspal lapis pondasi atau *Asphalt Concrete Base Course (AC-Base)*, dengan agregat ukuran butir maksimum 1 $\frac{1}{2}$ inchi atau 37,5 mm.

Gradasi agregat mempunyai pengaruh yang berbeda-beda terhadap beton aspal yang dihasilkan, campuran yang bergradasi menerus mempunyai sifat volume rongganya lebih sedikit dibanding dengan gradasi senjang (*gap graded*).

Sifat yang demikian ini menjadikan beton aspal lebih peka terhadap variasi kadar aspal dalam suatu proporsi campuran.

Dalam prosedur penentuan pembuatan campuran kerja (*Job Mix Formula*) dilakukan dengan tahapan, antara lain : penentuan gradasi agregat sesuai dengan spesifikasi untuk beton aspal *AC-WC*, perkiraan kadar aspal rencana, pembuatan benda uji sesuai gradasi yang ditentukan, pengujian Stabilitas *Marshall* sampai dengan Stabilitas *Marshall* Sisa, penentuan kadar aspal optimum. Kemudian pembuatan benda uji untuk pengujian Stabilitas *Marshall* di laboratorium.

Sifat yang diperlukan dari beton aspal, disesuaikan dengan penggunaannya sebagai pelapis permukaan konstruksi jalan yang harus memenuhi sifat teknis dan non teknis, artinya bahwa beton aspal harus dapat dibuat dari bahan-bahan yang tidak mahal akan tetapi dapat memenuhi sifat-sifat teknis sesuai dengan yang diinginkan (memenuhi spesifikasi). Dalam perencanaan, secara umum sifat-sifat teknis beton aspal, adalah :

- a. Stabilitas (*Stability*)
- b. Keawetan (*Durability*)
- c. Kelenturan (*Flexibility*)
- d. Kekesatan (*Skid Resistance*)
- e. Kelelahan (*Fatigue Resistance*)
- f. Kemudahan dikerjakan (*Workability*)
- g. Kedap air (*Immpemeability*)

a. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk (*deformasi*) seperti gelombang, alur atau *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan pelayanan volume lalu lintas tinggi dan kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan Stabilitas yang tinggi. Stabilitas dapat diperoleh dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel, dan daya ikat yang baik antara aspal dan agregat.

Stabilitas tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan : gradasi agregat dibuat rapat (*dense graded*), permukaan agregat kasar, agregat berbentuk kubus, aspal penetrasi rendah (keras) dan aspal dalam jumlah yang mencukupi ikatan antar butir.

b. Keawetan (*Durability*)

Adalah kemampuan bahan perkerasan untuk menahan keausan akibat pengaruh cuaca, yaitu air dan perubahan suhu, ataupun keausan akibat dari gesekan roda kendaraan, yang dapat mengakibatkan :

- a) perubahan pada bahan pengikat (*bitumen*) dan mengelupasnya selaput bitumen dari agregat dan kehancuran agregat
- b) faktor yang dapat mempengaruhi durabilitas adalah *VIM (Voids in Mix)* kecil sehingga lapisan menjadi kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran
- c) terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh
- d) *VMA (Voids in Mineral Aggregate)* besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal
- e) jika *VMA* dan *VIM* dibuat kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar
- f) untuk mengatasinya dengan *VMA* besar menggunakan agregat bergradasi senjang
- g) film aspal yang tebal dapat menghasilkan beton aspal yang berdurabilitas tinggi tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi besar.

c. Kelenturan (*Flexibility*)

Adalah kemampuan bahan lapis perkerasan untuk dapat mengikuti (menyesuaikan) deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa terjadinya retak dan perubahan volume. Sifat fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan cara : penggunaan agregat dengan gradasi senjang sehingga diperoleh *VMA* yang besar, menggunakan aspal lunak (penetrasi tinggi), dan penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh *VIM* yang kecil.

d. Kekesatan (*Skid Resistance*)

Adalah sifat kekesatan yang diberikan oleh permukaan bahan perkerasan dalam melayani arus lalu lintas yang lewat tanpa terjadinya slip baik di waktu hujan (basah) maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dalam koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan. Besarnya nilai koefisien gesek dipengaruhi oleh penggunaan : agregat dengan permukaan kasar, kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*, agregat berbentuk kubus, agregat kasar yang cukup.

e. Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Adalah ketahanan dari bahan perkerasan beton aspal dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor yang dapat mempengaruhi adalah : *VIM* yang tinggi dan kadar aspal yang rendah dapat menyebabkan kelelahan yang lebih cepat, *VMA* dan kadar aspal yang tinggi dapat menyebabkan lapis permukaan beton aspal menjadi fleksibel, sehingga alur menjadi lebih cepat terbentuk.

f. Kemudahan dikerjakan (*Workability*)

Adalah sifat mudahnya bahan lapis perkerasan untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. *Workability* dipengaruhi oleh : agregat yang bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat dengan bergradasi lain, temperatur campuran yang dapat mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat *thermoplastic*, dan kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi dapat menyebabkan pelaksanaan lebih sulit.

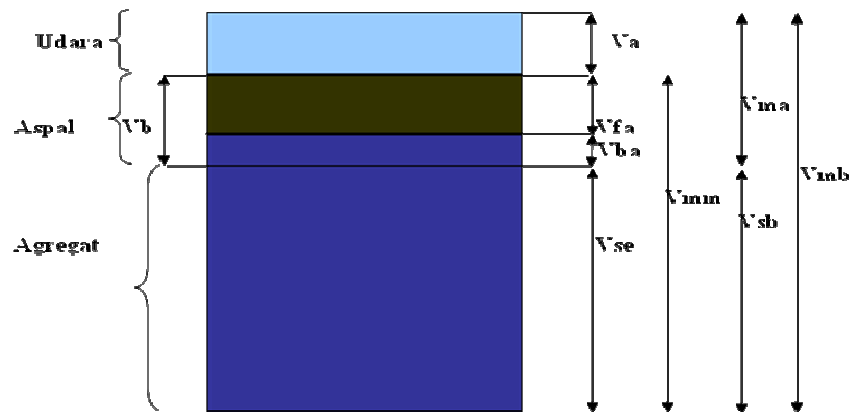
g. Kedap (*Impermeability*)

Adalah sifat kemampuan bahan perkerasan untuk tidak dapat dengan mudah dilalui oleh air atau udara. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan campuran beton aspal dan pengelupasan selimut aspal (*film*) dari permukaan agregat. Bahan perkerasan dapat dibuat kedap air dengan cara :

memperkecil *VIM* kecil dan memperbesar kadar aspal, atau menggunakan gradasi agregat yang rapat (*dense graded*).

2.5.1 Volumetrik Benda Uji Campuran

Berbagai jenis volume yang terdapat di dalam campuran beton aspal padat, dapat ditunjukkan seperti pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Skematis Berbagai Jenis Volume Beton Aspal

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2000b

Keterangan :

- V_{ma} = Volume rongga di antara mineral agregat (VMA)
- V_{mb} = Volume bulk campuran aspal
- V_{mm} = Volume campuran padat tanpa rongga
- V_{fa} = Volume rongga terisi aspal
- V_a = Volume rongga dalam campuran
- V_b = Volume Aspal
- V_{ba} = Volume aspal yang diserap agregat
- V_{sb} = Volume agregat (berdasarkan berat jenis bulk)
- V_{se} = Volume agregat (berdasarkan berat jenis efektif)

2.5.2 Metode Pengujian *Marshall*

Metode pengujian *Marshall* merupakan metode yang paling umum dipergunakan dan distandarisasikan dalam *American Society for Testing and Material 1993 (ASTM D 1553)*. Dalam metode tersebut terdapat 3 parameter penting dalam pengujian tersebut, yaitu beban maksimum yang dapat dipikul benda uji sebelum hancur atau sering disebut dengan *Marshall Stability* dan defomasi permanen dari benda uji sebelum hancur yang disebut dengan *Marshall Flow* serta turunan yang merupakan perbandingan antara keduanya (*Marshall Stability* dengan *Marshall Flow*) yang disebut dengan *Marshall Quotient (MQ)*. *MQ* merupakan nilai kekakuan berkembang (*Speedo Stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran beton aspal terhadap deformasi tetap (*permanent*) (Shell, 1990).

2.5.3 Dasar Perhitungan

Analisis perhitungan yang digunakan terdapat dalam metode *Marshall* pada *The Asphalt Institute* , MS-2, (1993) dan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan - Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan (2010).

Persamaan-persamaan untuk menganalisis campuran beraspal panas, adalah :

a. Berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dari total agregat:

Agregat terdiri dari fraksi-fraksi : agregat kasar, agregat halus dan *filler*, dimana masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda satu sama lainnya, sehingga berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dari total agregat dapat dihitung berdasarkan Persamaan 2.1.

$$Gsb = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsb_1} + \frac{P_2}{Gsb_2} + \dots + \frac{P_n}{Gsb_n}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

Gsb = Berat jenis bulk total agregat

$P_1, P_2, \dots, P_n =$ Persentase masing-masing fraksi agregat

$G_1, G_2, \dots, G_n =$ Berat jenis *bulk* masing-masing fraksi agregat

Berat jenis bahan pengisi sulit dihitung dengan teliti, namun demikian jika berat jenis nyata (*apparent*) bahan pengisi dimasukkan, maka kesalahan biasanya dapat diabaikan.

b. Berat Jenis Efektif agregat

Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) diukur dengan *AASHTO T-209-90*, maka berat jenis efektif campuran (G_{se}) termasuk rongga dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat ditentukan dengan rumus Persamaan 2.2.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$G_{se} =$ Berat jenis efektif agregat

$G_{mm} =$ Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol

$P_{mm} =$ Persentase berat total campuran (= 100%)

$P_b =$ Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum yang diuji, dalam persen terhadap berat total campuran

$G_b =$ Berat jenis aspal

Volume aspal yang terserap oleh agregat umumnya lebih besar dari volume air yang terserap. Besarnya berat jenis efektif agregat harus diantara berat jenis curah dan berat jenis semu agregat. Besarnya berat jenis semu total agregat dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.3

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- Gsa = Berat jenis semu total agregat
 P1, P2, ..., Pn = Persentase dalam berat agregat 1, 2, n
 G1, G2, ..., Gn = Berat jenis curah agregat 1, 2, n.

c. Berat Jenis Maksimum Campuran

Dalam merencanakan campuran beraspal dimana berat jenis agregat diketahui, maka berat jenis maksimum campuran (Gmm) (Persamaan 2.4) pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Demikian pula akan lebih baik dilakukan pengujian berat jenis maksimum dengan benda uji sebanyak dua buah atau tiga buah. Berat jenis maksimum campuran (Gmm) untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung dengan menggunakan berat jenis efektif (Gse) rata-rata sebagai berikut :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- Gmm = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol
 Pmm = Persentase berat total campuran (= 100%)
 Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran
 Pb = Kadar aspal, persen terhadap berat total campuran
 Gse = Berat jenis efektif agregat
 Gb = Berat jenis aspal

d. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Penyerapan aspal (P_{ba}) dapat dihitung dengan Persamaan 2.5.

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \times G_b \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat
- G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat
- G_{se} = Berat jenis efektif agregat
- G_b = Berat jenis aspal

e. Kadar Aspal Efektif Campuran

Kadar aspal efektif (P_{be}) 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, dengan rumus Persamaan 2.6.

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- P_{be} = Kadar aspal efektif, persen berat total campuran
- P_b = Kadar aspal, persen total campuran
- P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat
- P_s = Kadar agregat, persen total campuran

f. Rongga di antara Mineral Agregat (VMA)

Rongga diantara mineral agregat (VMA) adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang

diserap agregat). *VMA* dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (*Gsb*) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *bulk* campuran yang dipadatkan. Perhitungan *VMA* terhadap berat campuran total, seperti Persamaan 2.7.

$$VMA = 100 - \left[\frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right] \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- VMA* = Rongga di antara mineral Agregat, persen volume *bulk*
Gsb = Berat jenis *bulk* agregat
Gmb = Berat jenis *bulk* campuran padat
Ps = Kadar agregat, persen total campuran

Perhitungan *VMA* terhadap berat total agregat sebagai berikut :
(Persamaan 2.8)

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100 + Pb} \times 100 \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- Pb* = Kadar aspal, persen total campuran
Gsb = Berat jenis *bulk* agregat
Gmb = Berat jenis *bulk* campuran padat

g. Rongga udara di dalam Campuran Padat (*VIM*)

Rongga udara dalam campuran (*Va*) atau *VIM* dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam persen dapat ditentukan dengan Persamaan 2.9.

$$VIM = Va = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- VIM atau V_a = Rongga udara campuran padat, persen total campuran
 G_{mb} = Berat jenis *bulk* campuran padat
 G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol

h. Rongga Udara Terisi Aspal (VFA)

Rongga udara terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus VFA ditunjukkan pada Persamaan 2.10.

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - V_a)}{VMA} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- VFA = Rongga udara terisi aspal, persen dari VMA
 VMA = Rongga di antara Mineral Agregat, persen volume *bulk*
 VIM atau V_a = Rongga udara di dalam campuran padat, persen total campuran

i. Stabilitas dan Flow

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai yang ditunjukkan oleh jarum dial pada *proving ring* stabilitas yang dipasang pada alat *Marshall Test*, kemudian dikonversikan dengan **Tabel Kalibrasi** sesuai *proving ring* yang digunakan. Selanjutnya nilai Stabilitas tersebut harus dikoreksi dengan suatu faktor koreksi ketebalan benda uji. Sedang nilai pelelehan (*Flow*) ditunjukkan pada jarum yang ditunjukkan oleh angka pada dial *flow*, dalam satuan unit dimana 1 unit = 0,01 mm (milimeter), sehingga tidak diperlukan lagi konversi angka pada pengukuran *flow*.

j. **Marshall Quotient**

Untuk mengetahui kekakuan campuran beton aspal perlu dianalisis dengan mencari nilai *Marshall Quotient (MQ)*. *Marshall Quotient (MQ)*, merupakan hasil bagi dari stabilitas dibagi pelelehan (*flow*), yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.11).

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

MS = Stabilitas *Marshall*, dalam kg

MF = Kelehan *Marshall*, dalam mm

Ketentuan laston AC-WC tercantum dalam **Tabel 2.5** dan **Tabel 2.6**.

Tabel 2.5 Ketentuan Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran	Laston (AC)						
	AC-WC		AC-BC		AC-Base		
	Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar	
Kadar aspal efektif (%)	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5	
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah tumbukan per bidang	75				112 ⁽¹⁾		
Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾	Min.	3,5					
	Maks.	5,0					
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13			
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	63	60			
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800 ⁽¹⁾	
	Maks.	-				-	
Pelelehan (mm)	Min.	3				4,5 ⁽¹⁾	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250				300	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60°C ⁽³⁾	Min.	90					
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) ⁽⁴⁾	Min.	2,5					

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2010

Tabel 2.6 Ketentuan Sifat Campuran Laston yang Dimodifikasi

NO.	Sifat-sifat Campuran	Laston ⁽²⁾			
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi ⁽⁶⁾	
1	Kadar aspal efektif (%)	4,5	4,2	4,2	
2	Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,2		
3	Jumlah tumbukan per bidang	75		112 ⁽¹⁾	
4	Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾	Min.	3,0		
		Maks.	5,5		
5	Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
6	Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	63	60
7	Stabilitas Marshall (kg)	Min.	1000		2250 ⁽¹⁾
		Maks.	-		-
8	Pelelehan (mm)	Min.	3		4,5 ⁽¹⁾
9	Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	300		350
10	Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60°C ⁽³⁾	Min.	90		
11	Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) ⁽⁴⁾	Min.	2,5		
12	Stabilitas Dinamis, lintasan/mm ⁽⁵⁾	Min.	2500		

Catatan :

- 1) Modifikasi Marshall lihat Lampiran 6.3 B
- 2) Rongga dalam campuran dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (Gmm test SNI 03-6893-2002)
- 3) Direksi Pekerjaan dapat atau menyetujui AASHTO T283-89 sebagai alternatif pengujian kepekaan terhadap kadar air. Pengkondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan.
- 4) Untuk menentukan kepadatan membal (refusal), disarankan menggunakan penumbuk bergetar (*vibratory hammer*) agar pecahnya butiran agregat dalam campuran dapat dihindari. Jika digunakan penumbukan manual jumlah tumbukan per bidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 inci dan 400 tumbukan untuk cetakan berdiameter 4 inci.
- 5) Pengujian Wheel Tracking Machine (WTM) harus dilakukan pada temperatur 60°C. Prosedur pengujian harus mengikuti pada Manual untuk Rancangan dan Pelaksanaan Aspal JRA (Japan Road Association, 1980)
- 6) Laston (AC Mod) harus campuran bergradasi kasar

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2010

2.6 Pengujian Viskositas

Metode pengujian viskositas mengacu pada SNI 06-6721-2002. Menggunakan Metode Saybolt Furol. Angka viskositas Furol adalah suatu angka dalam detik, yang diperlukan bagi 60 cm³ bahan aspal untuk melalui suatu lubang pipa sempit yang ukurannya tertentu, pada suhu tertentu. Makin tinggi angka viskositet Furol pada suatu suhu tertentu, makin pekat bahannya. Hasil dari pengukuran ini digunakan untuk menghitung viskositas saat pencampuran dan pematatan campuran beraspal panas, mencakup pengujian kekentalan Saybolt Furol aspal secara empiris pada temperatur antara 120°C - 200°C.

Persyaratan nilai viskositas aspal untuk setiap tahapan pelaksanaan diperlihatkan pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Hubungan Tahapan Pelaksanaan dan Viskositas Aspal

No	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas (Pa.s)
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,2
2	Pematatan benda uji Marshall	0,4
3	Suhu pencampuran maksimal di AMP	tidak diperlukan
4	Pencampuran, rentang temperatur sasaran	0,2-0,5
5	Menuangkan campuran aspal dari alat pencampur ke dalam truk	0,5-1,0
6	Pemasokan ke alat Penghampar	0,5-1,0
7	Penggilasan awal (roda baja)	1-2
8	Penggilasan kedua (roda karet)	2-20
9	Penggilasan Akhir (roda baja)	<20

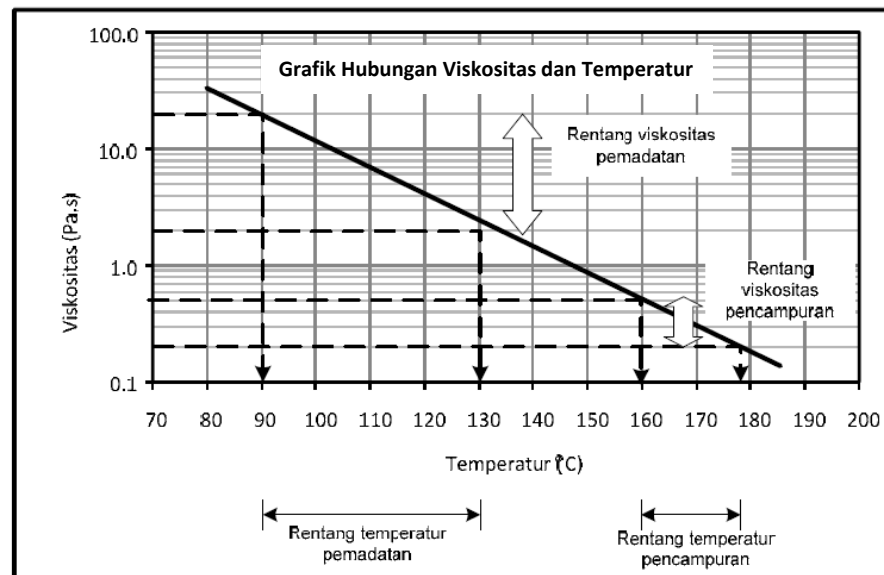
Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2010

Prosedur pengujian viskositas sesuai dengan SNI 06-6721-2002 dengan garis besar sebagai berikut :

- a. Alat dipanaskan pada temperatur 120°C.
- b. Benda uji yang telah dipanaskan pada 120°C dimasukkan ke dalam tabung viskometer.
- c. Gabus penyumbat tabung dibuka dan pengujian dilakukan pada temperatur yang berbeda (135°, 150°, 165°, 180° dan 200°)

- d. Waktu (detik) yang diperoleh dikonversikan dengan kekentalan kinematik (cSt).
- e. Dibuat grafik antara temperatur dan kekentalan untuk menghasilkan temperatur pencampuran pada viskositas 170 ± 30 cst (170 ± 30) 10^{-3} Pa.s dan temperatur pemadatan pada viskositas 280 ± 30 cst (280 ± 30) 10^{-3} Pa.s .

Contoh grafik hubungan antara temperatur dan viskositas ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Hubungan antara Viskositas dan Temperatur

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2010

2.7 Perhitungan Tebal Film Aspal

Perhitungan tebal film digunakan untuk menghitung luas permukaan sampel agregat yang dilapisi aspal dan mengukur jumlah aspal yang dibutuhkan untuk pelapisan keseluruhan. Hveem menghitung faktor-faktor luas permukaan, dengan asumsi sebuah partikel bentuk bulat dan *specific gravity* 2,65. Tipe faktor luas permukaan ditunjukkan pada **Tabel 2.8**.

Tabel 2.8 Tipe Faktor Luas Permukaan

No. Ayakan (mm)	Faktor luas Permukaan (m ² /kg)
0.075	32.77
0.15	12.29
0.3	6.14
0.6	2.87
1.18	1.64
2.36	0.82
> 4.75	0.41

Sumber : *Shell Bitumen, 1990*

Luas permukaan agregat dihitung dengan mengalikan massa total dinyatakan sebagai persentase lewat saringan setiap ukuran sesuai faktor luas permukaan dan menambahkan produk resultan bersama-sama.

Tebal lapisan film dihitung dengan rumus seperti dapat dilihat pada Persamaan 2.12.

$$T = \frac{b}{100 - b} \times \frac{1}{\rho_b} \times \frac{1}{SAF} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

- T = Tebal film aspal, dalam mm
 ρ_b = berat jenis aspal, dalam kg/m³
 SAF = Faktor Luas Permukaan, dalam m²/kg
 b = Kadar aspal, dalam %

2.8 Perhitungan *Dust Proportion* (DP)

Dust Proportion (DP) adalah ratio perbandingan antara kadar agregat lewat saringan no. 200 dengan kadar aspal efektif terhadap berat total campuran. Perhitungan DP dengan tujuan untuk mendapatkan perencanaan beraspal panas yang baik seperti dalam spesifikasi yang disyaratkan. *Dust Proportion* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Persamaan 2.13) :

$$DP = \frac{P_{0,075}}{Pae} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

DP = *Dust Proportion*

$P_{0,075}$ = Kadar agregat lewat saringan no.200, dalam %

Pae = Kadar aspal efektif terhadap berat total campuran, dalam %

Dalam *Superpave Mix Design*, *Dust Proportion* yang baik mempunyai ratio antara 0,6-1,20 untuk semua jenis campuran beraspal panas.

Jika suatu campuran nilai $DP > 1,20$ artinya campuran dengan gradasi seperti ini kebanyakan *filler* dan kurang aspal, yang dapat mempengaruhi sifat-sifat *Marshall*, seperti nilai Stabilitas *Marshall* bertambah, Pelelehan *Marshall* turun, *VMA* turun dan *VIM* bertambah, *VFA* turun, Kepadatan naik dan Hasil bagi *Marshall* bertambah dan sebaliknya dan pada akhirnya mempunyai pengaruh terhadap sifat ketahanan lama (*durable*).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

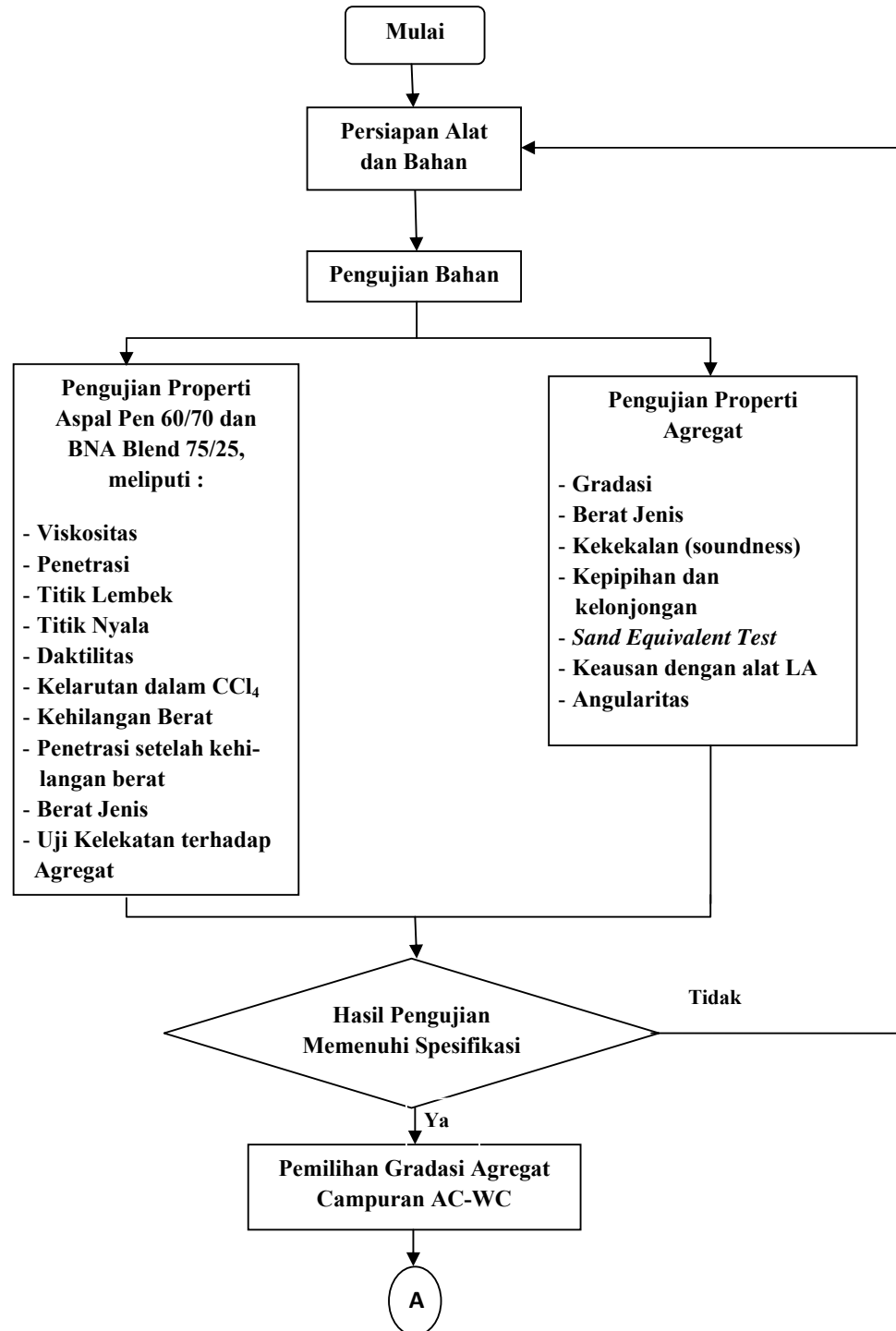
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang, dengan menggunakan metode pengujian eksperimen berdasarkan pada pedoman perencanaan campuran beraspal panas dengan metode Marshall menurut *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO, 1998)* dan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010.

Seperti telah disampaikan di bab I bahwa jenis campuran beraspal panas yang dipilih untuk penelitian ini adalah *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*. Pengujian-pengujian yang dilakukan meliputi :

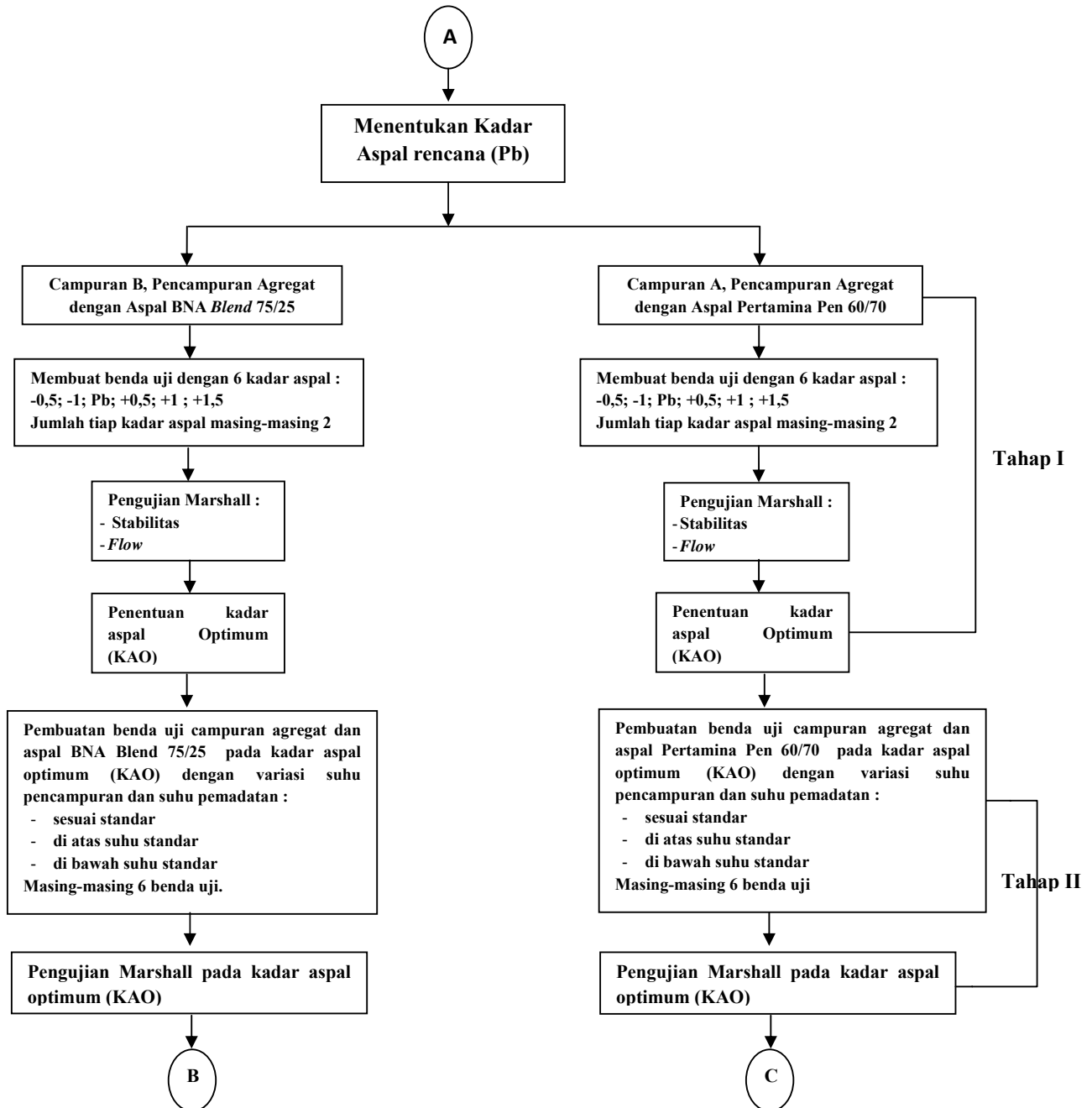
- a. Pengujian agregat meliputi : Gradasi, Berat Jenis, Kekekalan (*Sulfate Soundness Test*), Bentuk butiran (*Particle Shape*), *Sand Equivalent Test* , dan Keausan (*Los Angeles Abrasion*)
- b. Pengujian aspal meliputi : viskositas, Penetrasi, Titik Lembek, Titik Nyala, Daktilitas, Kelarutan dalam *Tetrachlorethylene (CCl₄)*, Kehilangan berat, Penetrasi setelah kehilangan berat, dan Berat Jenis serta uji kelekatan terhadap agregat
- c. Selanjutnya mempersiapkan bahan, yaitu menyaring agregat untuk kebutuhan perencanaan campuran rencana (*Job Mix Formula*)
- d. Membuat benda uji *Marshall*
- e. Pengujian benda uji *Marshall* dengan tujuan mendapatkan sifat-sifat seperti : *Stabilitas, Flow, VIM (Void In The Mix), VFA (Void Filled With Asphalt), VMA (Void Mix Aggregate)* dan *Marshall Quotient (MQ)*
- f. Selanjutnya menghitung tebal film aspal, *dust proportion (DP)* dan indeks kekuatan sisa (IKS).

Penelitian ini menggunakan dua jenis aspal, yaitu Aspal Pertamina Pen 60/70 dan *BNA Blend 75/25*.

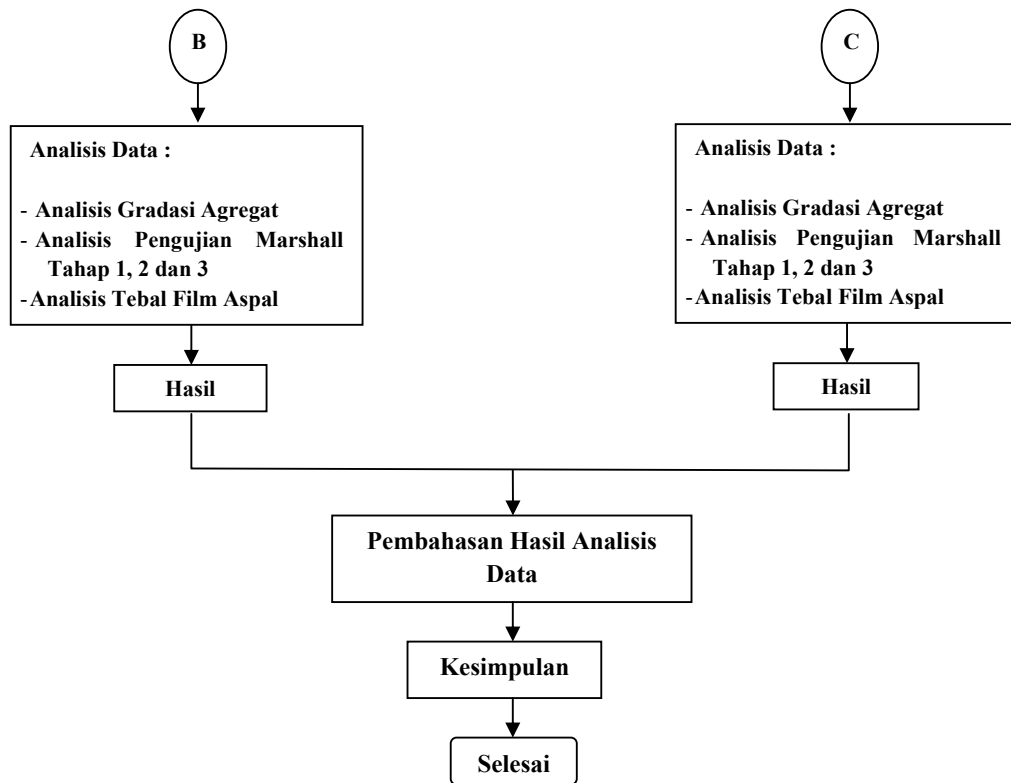
Secara skematis, pelaksanaan penelitian ini dapat disampaikan dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian (lanjutan)

3.2 Penyiapan Bahan Penelitian

Bahan baku untuk campuran beton aspal campuran panas yang dipakai dalam penelitian ini, dari :

- a. Aspal minyak Pen 60/70 dan BNA *Blend 75/25 (Buton Natural Asphalt)*

Alur produksi BNA *Blend* adalah sebagai berikut :

- a. Bahan material yang didapatkan dari tambang Lawele di Pulau Buton dibawa ke lokasi *stock pile* dengan menggunakan ponton.
- b. Selanjutnya material aspal mengalami proses ekstraksi dan pengolahan untuk menghasilkan *Buton Natural Asphalt (BNA)*. BNA yang dihasilkan selanjutnya dibawa ke Pertamina.

- c. *Supplier/ Agent* berdasarkan pesanan sebelumnya membawa truk pengangkut untuk dibawa ke Pertamina.
- d. Pertamina 60/70 original sebanyak 75%, kemudian diisi dengan BNA sebanyak 25%.
- e. Kedua material tersebut dicampur/ *blending*, selanjutnya dilakukan proses *quality control* dan ditimbang untuk mendapatkan sertifikat dan di-*sealed* untuk memastikan produk telah sesuai dengan kualitas dan kuantitasnya.
- f. Bitu *Blend Tank* siap untuk dibawa ke kontraktor atau lokasi *Asphalt Mixing Plant (AMP)*.

Karakteristik BNA *Blend 75/25* dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Karakteristik Tipikal Hasil *BNA Blend*

No.	Parameter	Metode	BNA Blend 75/25	Spek Bina Marga 2010 (Aspal Modifikasi)
1	Penetrasi @25°C, dmm*	SNI 06-2456-1991	47*	40-55*
2	Titik Lembek, °C*	SNI 06-2434-1991	54*	
3	Daktalitas @25°C*	SNI 06-2432-1991	150*	Min. 100*
4	Indeks Penetrasi*		-0.25*	Min. -0.5*
5	Kadar Bitumen, %**	SNI 06-2432-1991	91.05	Min. 90*
6	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	301.5	Min. 232
7	Berat Jenis* g/cm ³	SNI 06-2441-1991	1.105	Min. 1 *
8	Kehilangan berat TFOT % Asli	SNI 06-2440-1991	0.189	Max. 0.8
9	Penetrasi setelah TFOT % Asli	SNI 06-2456-1991	79.29	Min. 54
10	Daktalitas setelah TFOT % Asli	SNI 06-2434-1991	93.93	Min. 50
11	Viskositas @135°C (cst)	SNI 06-6721-2002	1826	Max. 2000

Keterangan :

* Hasil Ekstraksi

** Pengujian Kadar Bitumen dilakukan sesuai SNI 06-2432-1991, bukan berdasarkan ASTM D5546 (Kelarutan dalam Toluene) sesuai Spesifikasi 2010

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2010

- b. Agregat : Pasir dari Muntilan, batu pecah dan abu batu dari mesin pemecah batu dari PT. Adhi Karya
- c. Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah dari Semen *Portland*.

3.3 Peralatan Penelitian

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan uji di Laboratorium Politeknik Negeri Semarang (Polines), Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., yang sesuai dengan Acuan Normatif sebagai berikut :

- SNI 03-1968-1990 : Metode pengujian analisis saringan agregat kasar dan Halus
- SNI 03-1969-1990 : Metode pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar
- SNI 03-1970-1990 : Metode pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus
- SNI 03-2417-1991 : Metode pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles
- SNI 06-2432-1991 : Metode pengujian daktilitas bahan aspal
- SNI 06-2433-1991 : Metode pengujian titik nyala dan titik bakar aspal
- SNI 06-2434-1991 : Metode pengujian titik lembek aspal dan ter
- SNI 06-2441-1991 : Metode pengujian berat jenis aspal padat
- SNI 06-2456-1991 : Metode pengujian penetrasi bahan bitumen
- SNI 03-4428-1997 : Metode pengujian agregat halus atau pasir yang Mengandung bahan plastis dengan cara setara pasir
- SNI 03-4804-1998 : Metode pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat
- SNI 03-6723-2002 : Spesifikasi bahan pengisi untuk campuran beraspal
- SNI 03-6399-2000 : Tata cara pengambilan contoh aspal
- SNI 03-6819-2002 : Spesifikasi agregat halus untuk campuran beraspal

- SNI 03-6757-2002 : Metode pengujian berat jenis nyata campuran Beraspal padat menggunakan benda uji kering permukaan jenuh
- RSNI M-01-2003 : Metode pengujian keausan agregat dengan mesin Los

Angeles

- SNI 03-2417-1991 : Metode pengujian Campuran beraspal panas dengan alat Marshall
- SNI 06-6721-2002 : Metode Pengujian Viskositas dengan Saybolt Furol

3.4 Pengujian dan Persyaratan Bahan

Pengujian dan persyaratan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010, Departemen Pekerjaan Umum, ditunjukkan pada **Tabel 2.1 – Tabel 2.4**.

3.4.1 Perencanaan Gradasi

Jenis campuran beton aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* dan spesifikasi gradasi agregat dengan besar butir maksimum 19 mm (3/4"). Menentukan berat agregat pada masing-masing ukuran sesuai dengan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010, Departemen Pekerjaan Umum. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi kasar. Sebagai gambaran batas gradasi untuk Laston AC-WC dapat dilihat pada **Tabel 2.4** atau **Gambar 2.1**.

Jumlah campuran rencana yang dipergunakan dalam penelitian ini direncanakan 3 macam campuran dengan 2 jenis aspal, terdiri dari :

- a). Campuran gradasi kasar dengan aspal Pertamina Pen 60/70
- b). Campuran gradasi kasar dengan *BNA Blend 75/25*

3.4.2 Pembuatan benda uji

3.4.2.1 Kadar Aspal Rencana (Pb)

- a). Perkiraan pertama kadar aspal rencana (Pb) dari rumus Persamaan 3.1.

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

Pb = kadar aspal

CA = agregat kasar tertahan saringan No.8

FA = agregat halus lolos saringan No.8 dan tertahan No.200

Filler= agregat halus lolos saringan No.200

Nilai konstanta sekitar 0,50 -1,0 untuk AC dan HRS

- b). Bulatkan nilai Pb ke 0.5% terdekat
- c). Buat benda uji dengan 3 (tiga) kadar aspal di atas Pb dan 2 (dua) kadar aspal di bawah Pb yang sudah dibulatkan 0,5% ini (contoh apabila rumus memberikan nilai 5,7% maka dibulatkan menjadi 5,5%, dan dibuat contoh benda uji dengan kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan dengan kadar aspal 5% dan 4,5%).

3.5 Jumlah Benda Uji

Penelitian ini dilaksanakan dalam 2 tahap, tahap pertama menentukan perkiraan kadar aspal optimum (Pb) dan pembuatan benda uji, tahap kedua pembuatan benda uji dengan kadar aspal optimum (KAO). Jumlah benda uji untuk masing-masing tahap adalah sebagai berikut :

- a. Tahap 1 : Membuat perkiraan kadar aspal rencana (Pb), dengan ketentuan dibuat benda uji sejumlah 6 variasi kadar aspal yang berbeda setiap 0,5% dengan rincian 3 variasi kadar aspal di atas Pb (+0,5%; +1%; +1,5%) dan 2 variasi kadar aspal dibawah Pb (-0,5%; -1%) dengan masing-masing kadar aspal dibuat 2 benda uji. Setiap benda uji kemudian dipadatkan sebanyak 2 x 75 kali tumbukan (pemadatan standar), kemudian diuji dengan metode *Marshall* dan dievaluasi nilai *Stabilitas Marshall* dan *Marshall Flow*, *VMA*, *VIM*, *VFA* dan *Marshall Quotient (MQ)* untuk mendapatkan nilai kadar aspal(KAO). Total benda uji untuk satu jenis aspal adalah 12 buah benda uji. Sehingga, total benda uji untuk tahap I adalah 24 benda uji, lihat **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji pada Tahap I

No.	Sampel	Kadar aspal (%)						Jumlah Benda Uji
		-1,00%	-0,50%	Pb	0,50%	1,00%	1,50%	
1	Campuran dengan aspal Pen 60/70 (A)	2	2	2	2	2	2	12
2	Campuran dengan BNA Blend 75/25 (B)	2	2	2	2	2	2	12
							Total	24

Keterangan :

Pb = Perkiraan kadar aspal rencana

b. Tahap 2 : Berdasarkan nilai KAO pada tahap 2, dibuat benda uji dengan variasi suhu pencampuran dan suhu pemadatan. Benda uji ini kemudian dipadatkan 2 x 75 kali tumbukan. Jumlah benda uji pada tahap 3 terlihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Jumlah benda uji pada kadar aspal optimum (KAO)

No.	Sampel	KAO	Jumlah Benda Uji
1	Campuran dengan aspal Pen 60/70, suhu sesuai standar (A)	6	6
2	Campuran dengan aspal Pen 60/70, suhu di atas standar (A1)	6	6
3	Campuran dengan aspal Pen 60/70, suhu di bawah standar (A2)	6	6
4	Campuran dengan BNA Blend 75/25, suhu sesuai standart (B)	6	6
5	Campuran dengan BNA Blend 75/25, suhu di atas standart (B1)	6	6
6	Campuran dengan BNA Blend 75/25, suhu di bawah standart (B2)	6	6
		Total	36

Keterangan :

KAO = Kadar aspal optimum

Selanjutnya diuji *Stabilitas Marshall* dan *Marshall Flow*, *VMA*, *VIM*, *VFA* dan *Marshall Quotient (MQ)* dan kemudian dilakukan analisis.

3.6 Hipotesis

Campuran Laston jenis *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* yang menggunakan *BNA Blend 75/25* diduga lebih awet dibandingkan Campuran Laston jenis *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* yang menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 yang diukur dengan melakukan analisis terhadap tebal

film aspal. Untuk membuktikan kebenaran praduga tersebut di atas perlu dilakukan penelitian ini.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Sebelum perkerasan suatu jalan dibuat, perlu dilakukan pemeriksaan terhadap material penyusun jalan, yaitu aspal dan agregat secara teliti. Hal ini untuk mengetahui sifat-sifat dari material-material tersebut dimana merupakan faktor penentu kemampuan perkerasan jalan dalam memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Sampel agregat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Adhi Karya Semarang, yang berlokasi di wilayah Mangkang. Pemeriksaan agregat dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang dengan menggunakan acuan standar uji Standar Nasional Indonesia (SNI) atau *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), jika pada salah satu diantara jenis uji tertentu tidak terdapat dalam SNI. Pengujian sifat - sifat material meliputi : uji agregat (kasar, halus dan *filler*) dan aspal keras Pen 60/70 dilakukan di Laboratorium Bahan Politeknik Negeri Semarang. Untuk pengujian aspal modifikasi BNA *Blend 75/25* dilakukan di Balai V, PU Bina Marga.

4.1.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal

Hasil pemeriksaan terhadap sifat fisik dan mekanis aspal ex PT. Pertamina jenis aspal keras Pen 60/70, dapat dilihat seperti pada **Tabel 4.1** dan untuk mengetahui secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran A.1** sampai dengan **Lampiran A.10**. Sedangkan hasil pemeriksaan terhadap sifat fisik dan mekanis aspal modifikasi BNA *Blend 75/25*, dapat dilihat seperti pada **Tabel 4.2**, untuk mengetahui secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran B.1**.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5 detik, 0,1 mm.	SNI 06-2456-1991	60 - 79	63.50	Memenuhi
2	Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	48 - 58	48.5	Memenuhi
3	TitikNyalanya, °C	SNI 06-2433-1991	Min. 200	225	Memenuhi
4	Daktilitas, 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	Min. 100	> 100	Memenuhi
5	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	Min. 1,0	1.04	Memenuhi
6	Kelarutan dalam Trichlor Ethylene % berat	RSNI M-04-2004	Min. 99	99.97	Memenuhi
7	Penurunan Berat (dengan TFOT), % berat	SNI 06-2440-1991	Maks. 0,8	0.35	Memenuhi
8	Penetrasi setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2456-1991	Min. 54	54.50	Memenuhi
9	Daktilitas setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2432-1991	Min. 50	> 100	Memenuhi

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal BNA *Blend 75/25*

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5 detik, 0,1 mm.	SNI 06-2456-1991	40 - 55	42.00	Memenuhi
2	Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	Min. 54	55.0	Memenuhi
3	TitikNyalanya, °C	SNI 06-2433-1991	Min. 232	318	Memenuhi
4	Daktilitas, 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	Min. 100	> 140	Memenuhi
5	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	Min. 1,0	1.09	Memenuhi
6	Kelarutan dalam Trichlor Ethylene % berat	RSNI M-04-2004	Min. 90	91.31	Memenuhi
7	Penurunan Berat (dengan TFOT), % berat	SNI 06-2440-1991	Maks. 0,8	0.03	Memenuhi
8	Penetrasi setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2456-1991	Min. 54	118.07	Memenuhi
9	Daktilitas setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2432-1991	Min. 50	> 135	Memenuhi

Sumber : *Laboratorium Balai V, PU Bina Marga, 2012*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa titik lembek aspal Pertamina Pen 60/70 (48.5 °C) lebih rendah dibandingkan aspal BNA *Blend 75/25* (55 °C), yang berarti aspal BNA *Blend 75/25* memiliki kepekaan terhadap temperatur yang lebih tinggi. Aspal BNA *Blend 75/25* lebih awet dan tahan terhadap deformasi karena pengaruh suhu maupun *traffic*.

Dalam menentukan suhu pencampuran dan pemadatan campuran aspal, dilakukan pengujian viskositas (kekentalan) aspal. Syarat kekentalan aspal ditunjukkan pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Syarat Kekentalan Aspal

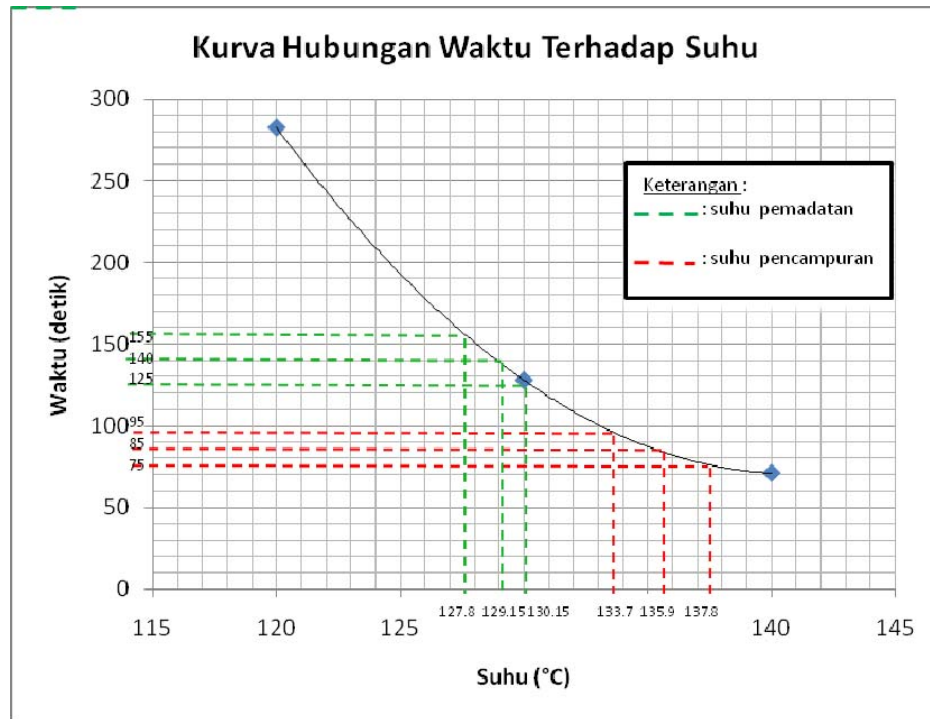
Alat Uji	Kekentalan Untuk Aspal		Satuan
	Pencampuran	Pemadatan	
Viscometer Kinematik	170 ± 20	280 ± 30	Centistokes
Viscometer Saybolt Furol	85 ± 10	140 ± 15	Detik Saybolt Furol

Sumber : *Laboratorium Rekayasa Jalan, Teknik Sipil ITB, 1999*

Pemeriksaan viskositas aspal Pertamina Pen 60/70 dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.5** serta **Gambar 4.1**.

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Viskositas aspal Pertamina Pen 60/70

No	Suhu yang diamati (°C)	Waktu (detik)
1	120	283
2	130	128
3	140	71



Gambar 4.1 Kurva Hubungan Waktu Terhadap Suhu untuk Aspal Pertamina Pen 60/70

Berdasarkan **Gambar 4.1**, maka suhu pencampuran dan pemadatan untuk aspal Pertamina Pen 60/70 disajikan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Hasil Suhu Pencampuran dan Suhu Pemadatan untuk Aspal Pertamina Pen 60/70

No.	Waktu (detik)	Suhu (°C)		Keterangan
		Pencampuran	Pemadatan	
1	75	137.90		Suhu maks. (A1)
2	85	135.95		Suhu standart (A)
3	95	133.95		Suhu min. (A2)
4	125		130.15	Suhu maks. (A1)
5	140		129.35	Suhu standart (A)
6	155		127.90	Suhu min. (A2)

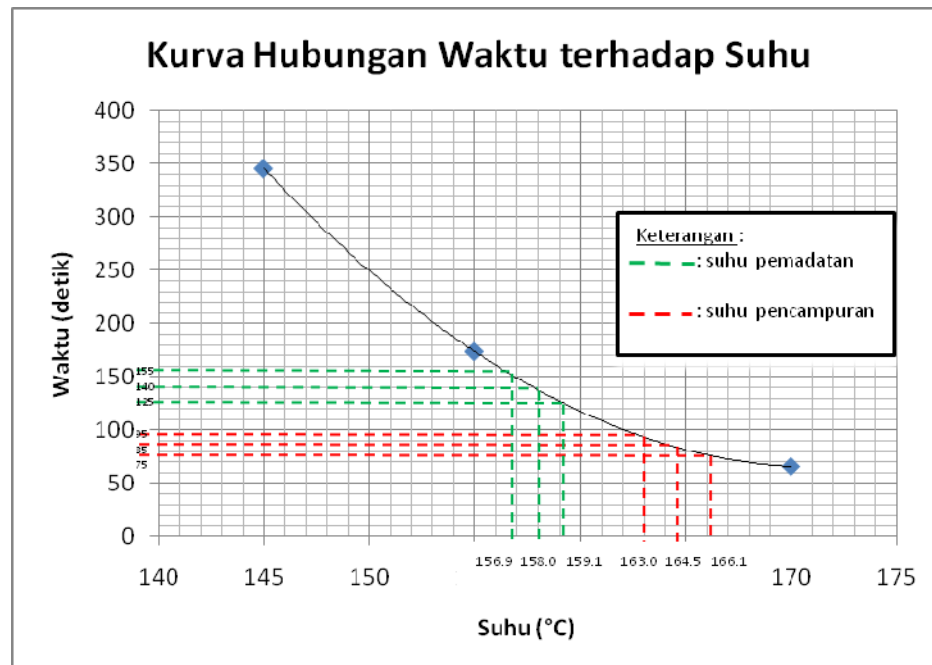
Pada penelitian ini menggunakan suhu pencampuran dan suhu pemadatan dalam 3 kondisi, yaitu : suhu standar (A), suhu maksimum (A1) dan suhu minimum (A2). Dari ketiga kondisi ini nantinya untuk membandingkan seberapa

besar pengaruh suhu pencampuran dan suhu pemadatan (viskositas) terhadap tebal film aspal. Tebal film aspal dihitung dengan Persamaan 2.12.

Hasil pemeriksaan viskositas aspal BNA *Blend 75/25* dapat dilihat pada **Tabel 4.6** dan **Tabel 4.7** serta **Gambar 4.2**.

Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan Viskositas aspal BNA *Blend 75/25*

No	Suhu yang diamati (°C)	Waktu (detik)
1	145	345
2	155	173
3	170	65



Gambar 4.2 Kurva Hubungan Waktu Terhadap Suhu untuk aspal BNA *Blend 75/25*

Tabel 4.7 Hasil Suhu Pencampuran dan Suhu Pematatan untuk Aspal BNA *Blend 75/25*

No.	Waktu (detik)	Suhu (°C)		Keterangan
		Pencampuran	Pematatan	
1	75	166.1		Suhu maks. (B1)
2	85	164.5		Suhu standart (B)
3	95	163.0		Suhu min. (B2)
4	125		159.1	Suhu maks. (B1)
5	140		158.0	Suhu standart (B)
6	155		156.9	Suhu min. (B2)

Dari **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2** dapat disimpulkan bahwa Aspal BNA *Blend 75/25* memiliki kekentalan lebih tinggi dibandingkan dengan Aspal Pertamina Pen 60/70. Viskositas yang lebih tinggi dapat memperbaiki kinerja perkerasan sehingga perkerasan lebih tahan terhadap deformasi, baik akibat beban lalu lintas maupun temperatur.

4.1.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

Hasil pemeriksaan terhadap sifat fisik dan mekanis agregat (agregat kasar, agregat halus dan *filler*), dapat dilihat pada **Tabel 4.8** dan untuk mengetahui secara lengkap hasil pengujian dapat dilihat pada **Lampiran C.1** sampai dengan **Lampiran C.17**.

Tabel 4.8 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat kasar				
1	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium dan Magnesium Sulfat	SNI 03-4428-1997	Maks. 12%	0.14%	Memenuhi
2	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 03-2417-1991	Maks. 40%	7.90%	Memenuhi
3	Kelekatan agregat terhadap aspal Pen 60/70	SNI 03-2439-1991	Min. 95%	100%	Memenuhi
4	Partikel pipih dan lonjong	RSNI T 01-2005	Maks. 10%	9.12%	Memenuhi
5	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%	0.79%	Memenuhi
6	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat kasar 0.5/1 b. Agregat kasar 1/2	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1.69% 2.04%	Memenuhi
7	Berat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) a. Agregat kasar 0.5/1 b. Agregat kasar 1/2	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5	2.686 2.651	Memenuhi
B	Agregat halus				
1	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium dan Magnesium Sulfat	SNI 03-4428-1997	Maks. 12%	2.36%	Memenuhi
2	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%	98.14%	Memenuhi
3	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 8%	2.26%	Memenuhi
4	Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%	49.18%	Memenuhi
5	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1.67% 2.19%	Memenuhi
6	Berat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5	2.727 2.736	Memenuhi
C	Filler				
1	Berat Jenis	SNI 03-2531-1991	3,1-3,3	3.16	Memenuhi

Karena semua hasil pengujian material agregat yang berasal dari pemecahan batu *Stone Crusher* dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* P.T. Adhi Karya Semarang, yang berlokasi di wilayah Mangkang dan pasir Muntilan memenuhi persyaratan Spek 2010, maka agregat tersebut dapat digunakan sebagai campuran beton aspal campuran panas (Laston) *AC-WC*. Demikian halnya *filler* yang digunakan adalah material dari semen Portland (*PC*) dan dalam penelitian ini menggunakan PPC Jenis I – PU ex Gresik.

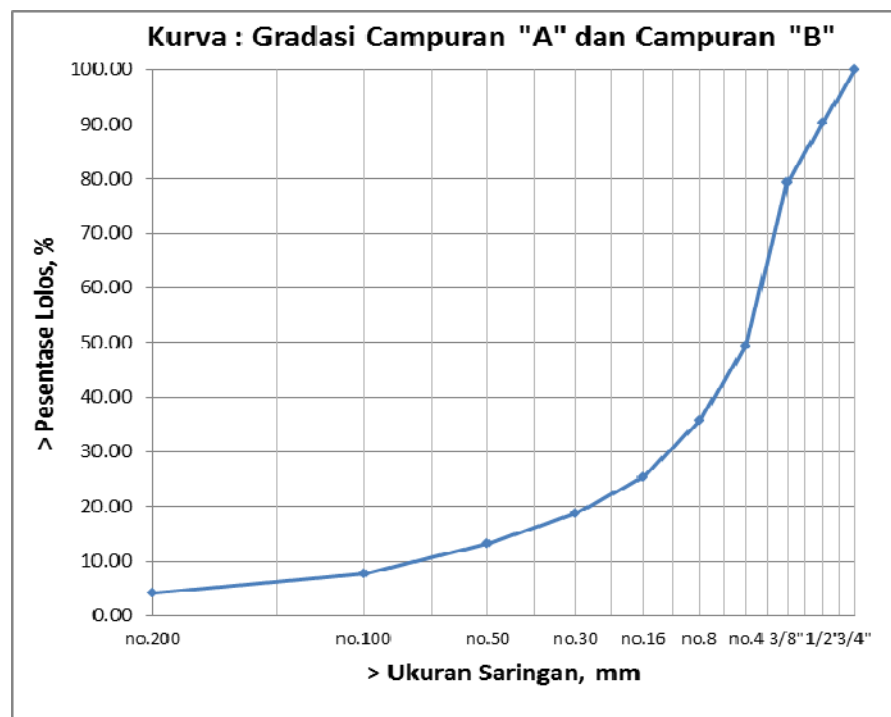
Sebelum dilakukan pembuatan benda uji *Marshall*, dilakukan pengujian analisis ayak, baik untuk agregat kasar, halus maupun abu batu. Dari analisis ayak agregat-agregat tersebut dibuat gradasi gabungan untuk campuran panas *AC-WC* sesuai Spesifikasi Jalan dan Jembatan 2010 dan disajikan dalam **Tabel 4.9**.

Hasil selengkapnya dapat dilihat di **Lampiran G.1 s/d G.5**.

Tabel 4.9 Gradasi Gabungan untuk “Campuran A” dan “Campuran B”

Proporsi Agregat		15.5%	42.5%	36.0%	6.0%	Kombinasi	Spek 2010
Ukuran Saringan ASTM	(mm)	Batu Pecah 1/2	Batu Pecah 0.5/1	Abu Batu	Pasir		
# 1"	# 25,4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
# 3/4"	# 19.05	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
# 1/2"	# 12.7	36.82	100.00	100.00	100.00	90.21	90-100
# 3/8"	# 9.5	3.38	86.88	100.00	100.00	79.45	72-90
no.4	# 4.75	1.58	16.94	100.00	98.22	49.34	43-63
no.8	# 2.36	1.45	2.98	79.34	94.61	35.73	28-39.1
no.16	# 1.18	1.39	2.60	52.20	87.12	25.34	19-25.6
no.30	# 0.59	1.32	2.28	37.35	66.84	18.63	13-19.1
no.50	# 0.279	1.22	1.94	26.85	41.43	13.17	9-15.5
no.100	# 0.149	1.08	1.59	16.17	18.73	7.79	6.0-13.0
no.200	# 0.074	0.77	1.09	8.80	6.00	4.11	4.0-10.0

Grafik gradasi campuran “A” dan campuran “B” dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3. Gradasi Campuran “A” dan Campuran “B”

4.1.3 Hasil Pengujian *Marshall* Tahap 1

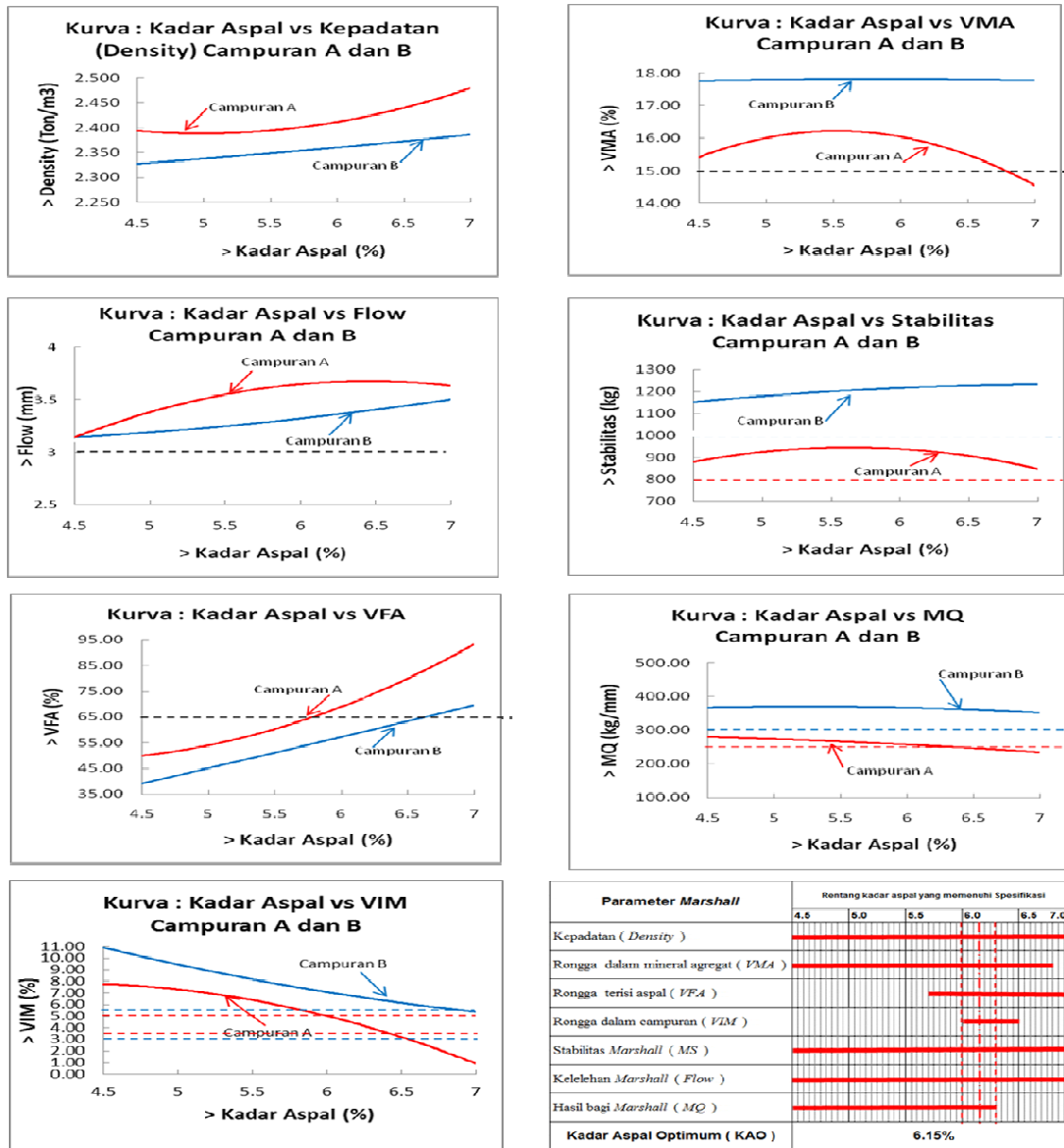
Dari gradasi gabungan yang disajikan pada **Tabel 4.9**, dicari kadar aspal perkiraan (Pb) dengan Persamaan (3.1) didapat 5,5%. Selanjutnya dibuat benda uji sejumlah 6 variasi kadar aspal yang berbeda setiap 0,5% dengan rincian 3 variasi kadar aspal diatas kadar aspal perkiraan atau Pb (+0,5%; +1%; +1,5%) dan 2 variasi kadar aspal dibawah Pb (-0,5%; -1%) terhadap berat total agregat. Setiap kadar aspal masing-masing dibuat 2 benda uji serta dipadatkan sebanyak 75 kali tumbukan (pemadatan standar) pada masing-masing seri campuran A dan B. Hasil pengujian *Marshall* Tahap 1 dengan menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 (Campuran A) dan Aspal BNA *Blend* 75/25 (Campuran B) ditunjukkan pada **Tabel 4.10** dan **Tabel 4.11** atau **Gambar 4.3**.

Tabel 4.10 Hasil Tes *Marshall* Tahap 1 pada Campuran “A”
(Aspal Pertamina Pen 60/70)

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Satuan	Syarat	Kadar Aspal (%)					
				4,5	5	5,5	6	6,5	7
1	Kepadatan (<i>Density</i>)	gr/cc	-	2.396	2.387	2.391	2.416	2.442	2.478
2	Rongga dalam mineral agregat (<i>VMA</i>)	%	Min. 15	15.36	16.06	16.34	15.91	15.42	14.61
3	Rongga terisi aspal (<i>VFA</i>)	%	Min. 65	49.89	54.12	60.08	69.4	79.72	93.53
4	Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>)	%	3,5-5,5	7.7	7.37	6.53	4.87	3.14	0.99
5	Stabilitas <i>Marshall</i> (<i>MS</i>)	kg	Min. 800	879.4	922.04	958.4	929.45	904.86	852.34
6	Kelelahan <i>Marshall</i> (<i>Flow</i>)	mm	Min. 3	3.11	3.43	3.59	3.61	3.63	3.67
7	Hasil bagi <i>Marshall</i> (<i>MQ</i>)	kg/mm	Min. 250	282.76	269.21	266.97	257.46	249.62	232.25

Tabel 4.11 Hasil Tes *Marshall* Tahap 1 pada Campuran “B”
(Aspal BNA Blend 75/25)

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Satuan	Syarat	Kadar Aspal (%)					
				4.5	5	5.5	6	6.5	7
1	Kepadatan (<i>Density</i>)	gr/cc	-	2.33	2.34	2.34	2.37	2.38	2.38
2	Rongga dalam mineral agregat (<i>VMA</i>)	%	Min. 15	17.70	17.80	18.13	17.58	17.75	17.86
3	Rongga terisi aspal (<i>VFA</i>)	%	Min. 65	39.39	44.92	49.81	58.35	63.43	69.14
4	Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>)	%	3,5-5,5	10.73	9.81	9.10	7.40	6.49	5.51
5	Stabilitas <i>Marshall</i> (<i>MS</i>)	kg	Min. 1000	1147.25	1172.64	1242.12	1205.61	1193.24	1254.71
6	Kelelehan <i>Marshall</i> (<i>Flow</i>)	mm	Min. 3	3.13	3.23	3.25	3.33	3.38	3.53
7	Hasil bagi <i>Marshall</i> (<i>MQ</i>)	kg/mm	Min. 300	367.12	363.61	382.19	362.59	353.55	355.95



Parameter Marshall	Rentang kadar aspal yang memenuhi Spesifikasi					
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Kepadatan (Density)	[Bar chart showing density values]					
Rongga dalam mineral agregat (VMA)	[Bar chart showing VMA values]					
Rongga terisi aspal (VFA)	[Bar chart showing VFA values]					
Rongga dalam campuran (VIM)	[Bar chart showing VIM values]					
Stabilitas Marshall (MS)	[Bar chart showing MS values]					
Kelelahan Marshall (Flow)	[Bar chart showing Flow values]					
Hasil bagi Marshall (MQ)	[Bar chart showing MQ values]					
Kadar Aspal Optimum (KAO)	6.85%					

Gambar 4.4 Grafik Hubungan Karakteristik Marshall Aspal Pertamina Pen 60/70 dan

BNA Blend 75/25

Dari pengujian *Marshall* tahap 1, sesuai dengan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010 ditentukan kadar aspal optimum (KAO). Dari **Gambar 4.4**, dapat dilihat KAO untuk Aspal Pertamina Pen 60/70 adalah 6.15% dan KAO untuk Aspal BNA *Blend 75/25* adalah 6.85%.

4.1.4 Hasil Pengujian *Marshall* Tahap 2 dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Tahap ini membuat benda uji dengan kadar aspal optimum yang divariasi pada suhu pencampuran dan suhu pemadatan (berdasarkan hasil pengujian viskositas) masing-masing dibuat 6 benda uji serta dipadatkan sebanyak 2 x 75 kali tumbukan pada masing-masing jenis campuran. Suhu yang digunakan dalam pembuatan benda uji untuk pencampuran dan pemadatan campuran dapat dilihat pada **Tabel 4.12** dan **Tabel 4.13**.

Hasil pengujian *Marshall* tahap 2 ditunjukkan pada **Tabel 4.12** dan **Tabel 4.13**.

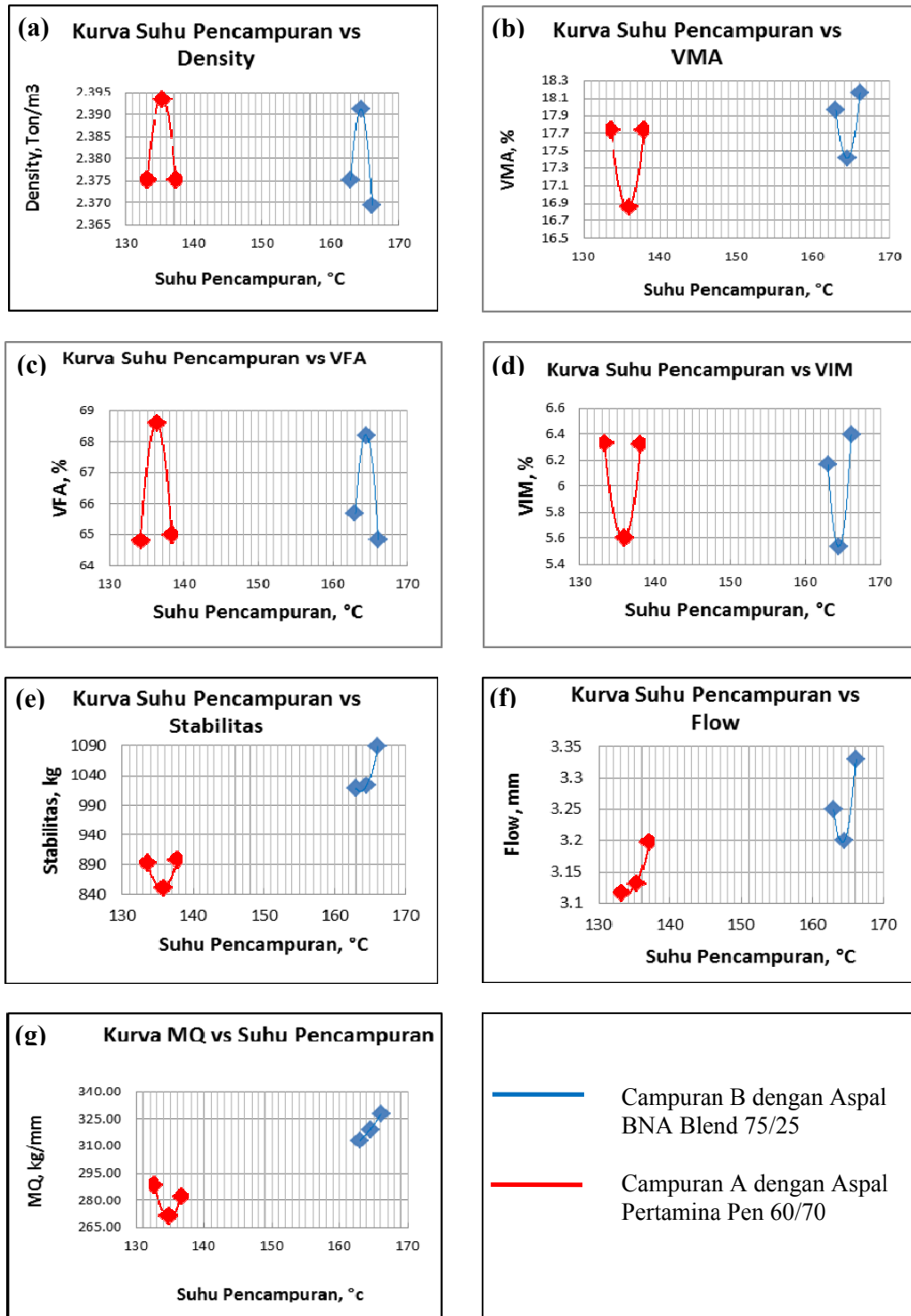
Tabel 4.12 Hasil pengujian *Marshall* Campuran “A” Tahap 2
(Aspal Pertamina Pen 60/70)

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Satuan	Suhu Pencampuran dan Pemadatan (°C)		
			A	A1	A2
1	Kepadatan (<i>Density</i>)	gr/cc	2.394	2.375	2.375
2	Rongga dalam mineral agregat (<i>VMA</i>)	%	16.759	17.4	17.404
3	Rongga terisi aspal (<i>VFA</i>)	%	66.643	63.783	63.631
4	Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>)	%	5.607	6.334	6.338
5	Stabilitas <i>Marshall</i> (<i>MS</i>)	kg	844.21	891.90	888.16
6	Kelelehan <i>Marshall</i> (<i>Flow</i>)	mm	3.133	3.2	3.117
7	Hasil bagi <i>Marshall</i> (<i>MQ</i>)	kg/mm	269.54	278.82	284.98

Tabel 4.13 Hasil pengujian *Marshall* Campuran “B” Tahap 2
(Aspal BNA Blend 75/25)

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Satuan	Suhu Pencampuran dan Pematatan (°C)		
			B	B1	B2
1	Kepadatan (<i>Density</i>)	gr/cc	2.391	2.369	2.375
2	Rongga dalam mineral agregat (<i>VMA</i>)	%	17.078	17.832	17.63
3	Rongga terisi aspal (<i>VFA</i>)	%	64.653	61.394	62.224
4	Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>)	%	6.037	6.891	6.663
5	Stabilitas <i>Marshall</i> (<i>MS</i>)	kg	1021.943	1088.621	1018.296
6	Kelelahan <i>Marshall</i> (<i>Flow</i>)	mm	3.2	3.33	3.25
7	Hasil bagi <i>Marshall</i> (<i>MQ</i>)	kg/mm	319.40	327.86	313.35

Untuk mempermudah dalam penggambaran kurva, hanya suhu pencampuran yang ditampilkan dalam gambar karena suhu pencampuran dan suhu pematatan merupakan satu kesatuan yang ditentukan dari nilai viskositas aspal. Kurva hubungan suhu pencampuran dan karakteristik *Marshall* disajikan pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Karakteristik *Marshall* Aspal Pertamina Pen 60/70 dan BNA Blend 75/25 terhadap Suhu Pencampuran (Tahap 2)

4.2 Pembahasan

4.2.1 Karakteristik Campuran AC-WC

- a. Hubungan antara suhu pencampuran dengan *density* pada kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat seperti **Gambar 4.5(a)**. Jika suhu di atas atau di bawah standar, campuran aspal sulit untuk dipadatkan sehingga pemadatan tidak optimal, yang mengakibatkan penurunan nilai *density*.

Nilai kepadatan (*density*) menunjukkan kerapatan suatu massa campuran, bila nilai *density* tinggi maka massa campuran sifatnya rapat atau padat dan sebaliknya, dipengaruhi oleh jenis bahan susun, kualitas dan proses pemadatan. Campuran dengan nilai *density* tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat jika dibandingkan dengan campuran yang mempunyai nilai *density* rendah. Suatu campuran memiliki *density* tinggi apabila bahan susun mempunyai bentuk butir tidak seragam, porositas butiran rendah dan kadar aspal tinggi.

- b. Hubungan antara suhu pencampuran dengan *VMA* pada kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat seperti **Gambar 4.5(b)**. Jika suhu pencampuran di atas atau di bawah standar maka sulit dipadatkan, sehingga rongga di dalam campuran akan besar.

VMA (Void in Mineral Aggregate) adalah rongga udara yang terdapat diantara mineral agregat didalam campuran aspal beton campuran panas yang sudah dipadatkan termasuk pori atau rongga yang terisi aspal. *VMA* dinyatakan dalam persen dari campuran aspal beton campuran panas.

- c. Hubungan antara suhu pencampuran dengan *VFA* pada kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat seperti **Gambar 4.5(c)**. Jika suhu pencampuran di atas atau di bawah suhu standar maka rongga yang terisi oleh aspal tidak optimal. Nilai *VFA* menunjukkan perbandingan antara jumlah kandungan aspal dan jumlah kandungan rongga didalam campuran. Nilai *VFA* yang rendah mempunyai arti bahwa jumlah aspal efektif yang

mengisi rongga-rongga antara butir agregat sedikit yang berarti pula rongga udaranya besar. Apabila hal ini terjadi, akan mengurangi ketahanan lama (*durabilitas*), sebaliknya jika nilai *VFA* terlalu tinggi dapat menyebabkan *bleeding* karena rongga diantara butir terlalu kecil.

VFA (Void Filled with Asphalt) adalah besarnya rongga yang terisi aspal dan dinyatakan dalam persen. Besarnya nilai *VFA* mempunyai pengaruh besar terhadap keawetan (*durability*) suatu campuran aspal beton campuran panas. Semakin besar nilai *VFA* semakin kecil nilai *VIM*, hal ini menunjukkan bahwa rongga yang terisi oleh aspal semakin banyak dan oleh karena itu campuran aspal beton campuran panas akan semakin tahan lama dan sebaliknya jika *VFA* kecil, maka rongga yang terisi aspal sedikit dan agregat yang diselimuti oleh aspal dalam kondisi tipis yang dapat menyebabkan campuran aspal beton campuran panas tidak tahan lama.

- d. Hubungan antara suhu pencampuran dengan *VIM* pada kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat seperti pada **Gambar 4.5(d)**. Jika suhu pencampuran di atas atau di bawah suhu standar, rongga dalam campuran semakin bertambah. *VIM* Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010 dibatasi antara 3,5% – 5,0% untuk campuran Laston dan 3,0% - 5,5% untuk campuran Laston yang dimodifikasi. Nilai *VIM* dibawah 3,5% menunjukkan rongga dalam campuran relatif rendah atau kecil yang menjadikan tidak tersedianya ruang yang cukup yang dapat menyebabkan aspal naik kepermukaan (*bleeding*). Demikian halnya dengan *VIM* diatas 5,5% dapat menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara, sehingga campuran aspal beton campuran panas mudah retak (*crack*) dan kurang tahan lama (*durable*).

VIM (Void In the Mix) adalah banyaknya rongga dalam campuran total yang dinyatakan dalam persen. Jika suhu pencampuran di atas atau di bawah suhu standart, nilai *VIM* akan besar karena pemadatan yang tidak sempurna.

- e. Hubungan suhu pencampuran dengan *Stabilitas Marshall* pada kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat seperti **Gambar 4.5(e)**. Nilai *Stabilitas Marshall* terkait dengan kinerja dari *density*, *VIM*, *VMA*, *VFA*. Secara umum *Stabilitas Marshall* akan turun seiring dengan bertambahnya *VIM*. *Stabilitas Marshall* adalah beban maksimum yang dapat ditanggung oleh benda uji pada suhu 60°C dalam satuan beban. *Stabilitas Marshall* merupakan indikator dari kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas. Dalam Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010 dibatasi untuk Laston AC-WC harus mempunyai nilai *Stabilitas Marshall* minimum 800 kg, sedangkan untuk aspal “modifikasi” nilai *Stabilitas Marshall* minimum 1000 kg
- f. Hubungan antara suhu pencampuran dengan *Flow* pada kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat seperti **Gambar 4.5(f)**. Dalam Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010 dibatasi mempunyai *Flow* minimum 3 mm. Dengan bertambahnya suhu pencampuran *flow* akan naik Hal ini menunjukkan bahwa terlalu tebal *film* aspal yang menyelimuti agregat, sehingga campuran menjadi semakin *plastis*. Secara umum *flow* akan naik dengan bertambahnya kadar aspal. Sesuai dengan sifat aspal sebagai bahan pengikat, semakin banyak aspal yang menyelimuti agregat, maka semakin baik ikatan antara agregat dengan aspal yang dapat menyebabkan pelelehan (*flow*) menjadi tinggi. Pelelehan (*Flow*) adalah jumlah gerakan atau deformasi/penurunan akibat pembebanan, dihitung dalam unit. *Flow* merupakan indikator kelenturan campuran aspal beton campuran panas dalam menahan beban lalu lintas. Nilai *flow* menunjukkan besarnya deformasi bahan susun benda uji, dimana campuran yang mempunyai nilai *flow* rendah dan *Stabilitas* tinggi dapat dikatakan campuran yang demikian adalah campuran yang regas atau kaku dan getas. Sehingga campuran mempunyai sifat mudah retak apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat, sebaliknya jika

campuran aspal beton campuran panas yang mempunyai *flow* tinggi maka campuran akan bersifat plastis yang mudah berubah bentuk (*deformasi plastis*) akibat beban lalu lintas tinggi dan berat.

- g. Hubungan antara suhu pencampuran dengan *MQ* pada kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat pada **Gambar 4.5(g)**. Dalam Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010 dibatasi mempunyai *MQ* minimum 250 kg/mm, sedangkan untuk campuran Laston “modifikasi” mempunyai *MQ* minimum 300 kg/mm.

Karena suhu pencampuran dan suhu pemadatan di atas atau di bawah suhu standar mempengaruhi kepadatan campuran aspal, yang mengakibatkan juga penurunan nilai stabilitas *Marshall*, maka nilai *MQ* juga akan terpengaruh.

MQ (*Marshall Quotient*) adalah hasil bagi antara *MS* (*Stabilitas Marshall*) dengan Pelelehan (*flow*). Hal ini mengindikasikan pendekatan kekakuan dan *fleksibilitas* dari suatu campuran aspal beton campuran panas. Nilai *MQ* sangat tergantung oleh besarnya nilai *Stabilitas* yang dipengaruhi gesekan antar butir (*interlocking*), gradasi dan sifat *cohesifness* dari agregat penyusun serta *flow* yang dipengaruhi oleh kadar aspal, kekentalan (*viscosity*) dan jumlah tumbukan.

Campuran yang memiliki nilai *MQ* rendah, dapat dikatakan bahwa campuran aspal beton campuran panas semakin *fleksibel* dan akan cenderung menjadi plastis dan lentur, sehingga mudah berubah bentuk (*deformasi*) apabila menahan beban lalu lintas tinggi dan berat. Sedangkan aspal beton campuran panas yang memiliki *MQ* tinggi yang menunjukkan bahwa campuran adalah kaku dan kurang lentur. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi *MQ* adalah gradasi, bentuk butir, *cohesifness*, kadar aspal, energi dan temperatur pemadatan.

4.2.2 Hasil Analisis Tebal Film Aspal

Tebal film aspal adalah ketebalan lapisan aspal yang menyelimuti agregat dalam suatu campuran aspal (dalam penelitian ini yaitu Laston) yang erat hubungannya dengan berat jenis aspal, faktor luas permukaan agregat dan kadar aspal. Viskositas aspal juga berpengaruh terhadap tebal film aspal. Tebal film aspal dihitung dengan Persamaan 2.12 dan ditunjukkan dalam **Tabel 4.14**.

Tabel 4.14 Pengaruh Jenis Aspal terhadap Tebal Film Aspal pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

Karakteristik	Spesifikasi (μm)	KAO (%)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)						Tebal Film Aspal (μm)
			Pencampuran			Pemadatan			
			Maks.	Standar	Min	Maks.	Standar	Min	
Campuran "A"	8,0-10,0	6.15	137.9	135.95	133.95	130.15	129.35	127.9	8.74
Campuran "B"	8,0-10,0	6.85	166.1	164.5	163	159.1	158	156.9	9.38

Dari hasil analisis tebal film aspal, campuran "A" pada kadar aspal optimum (KAO) 6.15% mempunyai tebal film aspal sebesar 8,74 μm (memenuhi spesifikasi) dan campuran "B" pada kadar aspal optimum (KAO) 6.85% mempunyai tebal film aspal sebesar 9,38 μm (memenuhi spesifikasi). Jenis aspal yang berbeda akan mempengaruhi tebal selimut aspal hal ini disebabkan setiap aspal mempunyai viskositas yang berbeda, dapat dilihat pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4.15 Hubungan Viskositas terhadap Tebal Film Aspal pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

No.	Jenis Campuran	Tebal Film Aspal (μm)	Viskositas (Pa.S)
1	Campuran "A"	8.29	0.1745
2	Campuran "B"	8.69	1.194

4.2.3 Hasil Analisis *Dust Proportion*

Dust Proportion (DP) adalah ratio perbandingan antara kadar agregat lewat saringan no. 200 dengan kadar aspal efektif terhadap berat total campuran. *Dust Proportion* (DP) dapat dihitung dengan Persamaan 2.13.

Hasil analisis *Dust Proportion* (DP) dari masing-masing campuran, selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 4.16**.

Tabel 4.16 Nilai *Dust Proportion* (DP) campuran “A” dan “B” pada KAO

Karakteristik	Spesifikasi	KAO (%)	Suhu (°C)						DP
			Pencampuran			Pepadatan			
			Maks.	Standar	Min	Maks.	Standar	Min	
Campuran "A"	0.6-1.2	5.85	137.9	135.95	133.95	130.15	129.35	127.9	0.85
Campuran "B"	0.6-1.2	6.45	166.1	164.5	163	159.1	158	156.9	0.76

Dari hasil analisis *Dust Proportion* (DP), campuran “A” mempunyai nilai DP sebesar 0,85 dan campuran “B” mempunyai nilai DP sebesar 0,76. Kedua campuran ini mempunyai nilai DP sesuai spesifikasi karena nilai *DP* 0,6 - 1,20. Hal ini menunjukkan bahwa rasio perbandingan antara kadar agregat lewat saringan no. 200 dengan kadar aspal efektif terhadap berat total campuran adalah baik sehingga akan berpengaruh terhadap sifat ketahanan lama (*durable*) campuran aspal beton yang direncanakan.

4.2.4 Analisis Pengujian Perendaman *Marshall* Standar dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Pengujian perendaman *Marshall* standar yaitu merendam benda uji dalam *waterbath* dengan suhu air 60°C selama 40 menit. Indeks Kekuatan Sisa (IKS) didapatkan dari pengujian perendaman *Marshall* dimana benda uji direndam dalam *waterbath* dengan suhu air 60°C selama 24 jam. Hasil pengujian ini selengkapnya ditunjukkan pada **Tabel 4.17**.

Tabel 4.17 Pengujian Perendaman *Marshall* dan Nilai IKS

No	Durasi Rendaman	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)		Suhu Pencamp. dan Pemasatan	IKS (%)	
			Pen 60/70	BNA Blend 25/75		Pen 60/70	BNA Blend
1	40 menit	KAO	891.902	1088.621	maksimum		
2	40 menit	KAO	888.158	1021.943	standar		
3	40 menit	KAO	844.208	1018.296	minimum		
1	24 jam	KAO	836.257	1076.015	maksimum	93.76	98.84
2	24 jam	KAO	860.448	1010.054	standar	96.88	98.84
3	24 jam	KAO	803.369	1008.278	minimum	95.16	99.02

Dari analisis di atas dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas mengalami penurunan pada saat perendaman selama 24 jam, namun nilai stabilitas masih masuk dalam spesifikasi 2010, stabilitas minimum 800 kg untuk aspal Pen 60/70 dan 1.000 kg untuk BNA Blend 75/25. Sedangkan syarat IKS adalah minimum 90% dari stabilitas standar. Ditunjukkan pada **Tabel 4.17**, kedua jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini masuk spesifikasi Jalan dan Jembatan 2010, yaitu di atas 90%. IKS BNA Blend 75/25 lebih besar dibandingkan Pen 60/70, yang artinya aspal BNA Blend 75/25 lebih awet/ tahan terhadap infiltrasi air akibat perendaman, dan hasil ini memperkuat hasil perhitungan tebal aspal film dan DP, serta menjawab hipotesis awal bahwa BNA Blend 75/25 lebih awet dari Pertamina Pen 60/70.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Dari hasil pemeriksaan propertis aspal, dapat disimpulkan bahwa aspal BNA *Blend 75/25* memiliki nilai propertis yang lebih baik dari aspal Pertamina Pen 60/70 dan memenuhi spesifikasi sebagai aspal modifikasi sesuai dengan persyaratan dari Bina Marga. Aspal BNA *Blend 75/25* memiliki berat jenis 1,091 dan titik lembek 55°C, lebih tinggi dari aspal Pertamina Pen 60/70 yang memiliki berat jenis 1,0375 dan titik lembek 48,5°C.
- b. Hasil pengujian terhadap karakteristik *Marshall* pada kadar aspal optimum (KAO), campuran Laston AC-WC yang menggunakan aspal BNA *Blend 75/25* memiliki karakteristik lebih baik dibanding Laston AC-WC yang menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70, ditunjukkan dengan stabilitas Laston AC-WC yang menggunakan aspal BNA *Blend 75/25* sebesar 1088,621 kg lebih tinggi dibandingkan Laston AC-WC yang menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70. Nilai MQ Laston AC-WC yang menggunakan aspal aspal BNA *Blend 75/25* sebesar 327,86 kg/mm lebih tinggi dibandingkan Laston AC-WC yang menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70. Dapat diartikan bahwa nilai MQ yang tinggi menunjukkan kemampuan Laston menerima repetisi beban lalu lintas, gesekan roda kendaraan pada permukaan jalan dan kemampuan menahan keausan karena pengaruh perubahan temperatur. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Laston AC-WC yang menggunakan aspal BNA *Blend 75/25* sebesar 99,02% lebih tinggi dibandingkan Laston AC-WC yang menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70, artinya campuran Laston AC-WC yang menggunakan aspal BNA *Blend 75/25* lebih *durable*.

- c. Aspal BNA *Blend 75/25* memiliki viskositas sebesar 690 cSt, lebih tinggi dari aspal Pertamina Pen 60/70 sebesar 566 cSt. Viskositas erat hubungannya dengan suhu pencampuran dan suhu pemadatan campuran Laston serta tebal film aspal. Hasil pengujian karakteristik *Marshall* pada KAO didapatkan tebal film aspal Laston AC-WC yang menggunakan aspal BNA *Blend 75/25* sebesar 9,38 μm dan tebal film aspal Laston AC-WC yang menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 sebesar 8,74 μm .
- d. Penggunaan aspal BNA *Blend 75/25* akan lebih baik dibandingkan dengan menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 untuk daerah dengan temperatur permukaan jalan tinggi dan curah hujan tinggi, karena aspal BNA *Blend 75/25* lebih tahan terhadap deformasi, baik yang disebabkan beban lalu lintas maupun temperatur (ditunjukkan dengan nilai titik lembek yang lebih tinggi dari aspal Pertamina Pen 60/70)

5.2. Saran

Beberapa saran dapat disampaikan untuk lebih menyempurnakan hasil penelitian ini, yaitu :

- a. Pengaruh suhu pencampuran dan pemadatan, sangat besar sekali terhadap hasil penelitian yang didapat, oleh karena itu untuk mendapatkan hasil penelitian yang akurat sebaiknya menggunakan termometer digital
- b. Sebelum dilakukan penelitian, diperlukan pengujian bahan yang betul-betul akurat, karena material agregat di lapangan mempunyai sifat dan karakteristik yang sangat berbeda setiap waktu. Lebih-lebih bahan yang diperoleh secara alami yang sangat dipengaruhi oleh proses terbentuknya (faktor cuaca) mempunyai peranan besar dalam pembentukan karakteristik bahan. Demikian halnya aspal sebagai perekat, susunan senyawa hidrokarbon sebagai pembentuknya mempengaruhi sifat fisik dan mekanis, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi sifat aspal beton terutama sifat ketahanan lama.
- c. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk suhu pencampuran dan suhu pemadatan di atas suhu maksimum dan di bawah suhu minimum untuk mengetahui seberapa besar pengaruh suhu terhadap karakteristik *Marshall*.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1998a , *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part I, Specifications, Nineteenth Edition*, Washington D.C.
- AASHTO, 1998b , *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part II, Test, Nineteenth Edition*, Washington D.C.
- ASTM, 1997, *Road and Paving Materials Vehicle – Pavement Systems, Published By The American Society of Testing Material Officials*, Washington D.C.
- Atkins H.N, 1997, *Highway Materials, Soils and Concretes, 3th Edition* Prentice Hall, New Jersey
- Departemen Pekerjaan Umum, 1976 , *Manual Pemeriksaan Bahan Jalan*, PU, Jakarta
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002a , *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara uji Aspal, Aspal Buton (Asbuton)*, *Perkerasan Jalan*, Badan Penelitian dan Pengembangan Wilayah, Badan Penelitian dan Pengembangan Kimpraswil, Standar Nasional Indonesia, Departemen Kimpraswil, Jakarta
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002b , *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara uji Batuan, Sedimen, Agregat*, Badan Penelitian dan Pengembangan Wilayah, Badan Penelitian dan Pengembangan Kimpraswil, Standar Nasional Indonesia, Departemen Kimpraswil, Jakarta
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002c, *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*, Direktorat Jendral Prasarana Wilayah, Departemen Kimpraswil, Jakarta

- Departemen Pekerjaan Umum, 2000a , *Spesifikasi Campuran Beraspal Panas*, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum, 2000b , *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas (Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak)*, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum, 2010 , *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan* , Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Kennedy, T. W, 1996, *The Bottom Line: Superpave System Works, The Superpave Asphalt research Program, The University of Texas at Austin*
- Laboratorium Rekayasa Jalan, 1999, *Modul Praktikum Bahan Perkerasan Jalan*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Bandung
- Priyatno B, 1999, *Perancangan Prasarana Jalan*, Dalam penataran Dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, September 1999
- Priyatno B, 2001, *Metode Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (PRD) Berdasarkan Spesifikasi Yang Disempurnakan*, Dalam Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, Oktober 2001
- Shell Bitumen*, 1990, *The Shell Bitumen Hand Book, Published By Shell Bitumen, East Molesey Serrey*
- Soehartono, 2010, *Teknologi Aspal dan Penggunaannya dalam Konstruksi Perkerasan Jalan*, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum P.T. Mediatama Saptakarya, Jakarta
- Sukirman S, 1999 , *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung

Sukirman S, 2003 , *Beton Aspal Campuran Panas*, Granit, Bandung

The Asphalt Institute, 1993, Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types, Manual Series No. 2 (MS-2), Asphalt Institute, Lexington USA.

The Asphalt Institute, 1996, Superpave Mix Design, Manual Series No. 2 (SP-2) Lexington USA.