

BAB VI

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Agregat

Seperti telah diuraikan diatas (bab 5, sub bab A) bahwa agregat yang akan digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu diteliti sifat-sifatnya di Laboratorium. Hasil pengujian sifat-sifat agregat tersebut dapat dilihat pada tabel 6.1. untuk agregat kasar dan tabel 6.2. untuk agregat halus.

Tabel 6.1. Spesifikasi agregat kasar dan hasil pengujian Laboratorium

Jenis pemeriksaan	Syarat (%)	Hasil (%)
1. Abrasi	maks 40	37,60
2. Kelekatan terhadap aspal	> 95	100,00
3. Penyerapan terhadap aspal	maks 3	2,10
4. Berat jenis semu	min 2,5	2,64

Sumber : Laston no.13/PT/B/1983 dan hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya JTS-FTS UII.

Tabel 6.2. Spesifikasi agregat halus dan hasil pengujian laboratorium.

Jenis pemeriksaan	Syarat (%)	Hasil (%)
1. Berat jenis semu	min 2,5	2,90
2. Penyerapan terhadap air	maks 3,0	2,30

Sumber : Laston no.13/PT/B/1983 dan hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya JTS-FTS UII.

Dari pengujian bahan diatas terlihat bahwa agregat kasar dan agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi sebagian besar persyaratan.

2. Aspal

Seperti halnya agregat, aspal yang akan digunakan dalam penelitian ini juga diteliti sifat-sifatnya di laboratorium. Hasil penelitian dari sifat aspal tersebut dapat dilihat pada tabel 6.3. dibawah ini.

Tabel 6.3. Spesifikasi aspal AC 60 - 70 dan hasil pengujian Laboratorium

Jenis Pemeriksaan	Syarat		Hasil Percobaan	Satuan
	Minimal	Maksimal		
1. Penetrasi	60	70	61,80	0,1 mm
2. Titik Lembek	48	58	48,50	°C
3. Titik Nyala	200	-	355	°C
4. Kelarutan dalam CCl ₄	99	-	99,96	% berat
5. Berat jenis	1	-	1,05	g/cc

Sumber : Laston no.13/PT/B/1983 dan hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya JTS-FTS Universitas Islam Indonesia

Dari pengujian bahan diatas terlihat bahwa aspal AC 60-70 yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan.

3. Beton Aspal

Karakteristik beton aspal dapat diketahui dari nilai stabilitas, kelelahan, rongga dalam campuran (VIM), dan persentase rongga terisi aspal (VFB/VFWA). Untuk masing-masing benda uji dibuat 5 variasi kadar aspal yaitu 4%, 5%, 6%, 7% dan 8%. Agar didapatkan hasil penelitian yang relatif baik, masing-masing kadar aspal dibuat 2 buah benda uji (duplo). Nilai rata-rata dari dua benda uji tersebut merupakan hasil penelitian. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh serta persyaratan yang harus dipenuhi oleh campuran beton aspal sesuai dengan spesifikasi Bina Marga, kemudian

dari hasil perhitungan dapat diketahui kadar aspal optimumnya. Nilai dari kadar aspal optimum tersebut digunakan sebagai bahan perbandingan untuk campuran dari gradasi batuan yang berada diluar batas spesifikasi Bina Marga. Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi oleh campuran beton aspal berdasarkan spesifikasi Bina Marga adalah seperti tabel 6.4 berikut ini :

Tabel 6.4. Persyaratan campuran beton aspal

Jenis Pemeriksaan	Golongan		
	Berat	Kepadatan Sedang	Lalulintas Ringan
1. Stabilitas (kg)	750	650	460
2. Kelelehan (mm)	2 - 4	2 - 4,5	2 - 5
3. % rongga dalam campuran (VIM)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
4. % rongga terisi aspal (VFB)	75 - 82	75 - 85	75 - 85
5. Jumlah tumbukan	2 x 75	2 x 50	2 x 35

Sumber : Petunjuk Pelaksanaan Lapis Beton Aspal (Laston) no.13/PT/B/1983.

Penggolongan kepadatan lalulintas berat, sedang dan ringan diatas didasarkan pada jumlah lalulintas harian rata-rata (LHR) yang melewati ruas jalan selama 24 jam sehari untuk kedua jurusan. Adapun penggolongan lalulintas tersebut adalah sebagai berikut:

1. Berat : lebih besar 500 UE 18 KSAL/hari/jalur
2. Sedang : 50 sampai 500 UE 18 KSAL/hari/jalur
3. Ringan : lebih kecil 50 UE 18 KSAL/hari/jalur

Dimana UE 18 KSAL (Unit Equivalent 18 Kips Single Axle Load) adalah satuan ekuivalen beban as tunggal kendaraan 18.000 pounds.¹⁾

1). Buku Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya, SKBI - 2.4.26. 1987 Departemen Pekerjaan Umum.

Hasil dari penelitian terhadap campuran beton aspal yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada tabel 6.5, 6.6 dan 6.7 berikut ini :

Tabel 6.5 Hasil pengujian Test Marshall campuran beton aspal dengan gradasi batuan ideal.

Jenis Pemeriksaan	Kadar Aspal (%)				
	4	5	6	7	8
1. Stabilitas (kg)	2771	3050	3943	3387	2574
2. Kelelehan (mm)	2,67	2,29	2,41	4,45	4,06
3. % rongga dalam campuran (VIM)	4,53	1,87	0,42	0,25	0,06
4. % rongga terisi aspal (VFB)	64,50	86,57	93,55	94,35	94,90
5. Nilai Marshall Quotient (KN/mm)	10,37	13,31	16,36	7,61	6,33

Tabel 6.6. Hasil pengujian Test Marshall campuran beton aspal dengan gradasi batuan diluar batas ring bagian atas.

Jenis Pemeriksaan	Kadar Aspal (%)				
	4	5	6	7	8
1. Stabilitas (kg)	3209	3314	3543	3670	1861
2. Kelelehan (mm)	2,03	1,02	3,05	2,16	3,43
3. % rongga dalam campuran (VIM)	2,73	0,95	1,09	0,39	0,08
4. % rongga terisi aspal (VFB)	74,89	89,58	89,24	93,49	94,78
5. Nilai Marshall Quotient (KN/mm)	15,80	32,49	11,61	16,99	5,42

Tabel 6.7. Hasil pengujian Test Marshall campuran beton aspal dengan gradasi batuan diluar batas ring bagian bawah.

Jenis Pemeriksaan	Kadar Aspal (%)				
	4	5	6	7	8
1. Stabilitas (kg)	2250	2112	2298	1614	1086
2. Kelelehan (mm)	1,91	1,78	2,79	2,03	3,68
3. % rongga dalam campuran (VIM)	5,62	2,66	0,99	0,27	2,36
4. % rongga terisi aspal (VFB)	59,67	78,32	89,95	94,22	84,80
5. Nilai Marshall Quotient (KN/mm)	11,78	11,86	8,23	7,95	2,95

4. Evaluasi Modulud Kekakuan Bitumen (S_{Bit})

Pada penentuan nilai kekakuan aspal ini, temperatur perkerasan yang digunakan adalah temperatur perkerasan rata-rata di Indonesia yaitu sebesar 30 °C. Panjang jejak roda kendaraan diambil 25 cm, dengan asumsi kecepatan kendaraan (V) = 50 km/jam. Untuk mengetahui hasil perhitungan Bitumen Stiffness (modulus kekakuan bitumen) dengan menggunakan nomogram yang dikembangkan oleh **Van der Poel** dan formula yang diturunkan oleh **Ullidz**, berikut ini contoh dari cara perhitungannya :

$$\text{Waktu pembebanan : } t = \frac{s}{v}$$

$$t = \frac{0,25 \cdot 3600}{50.000}$$

$$= 0,018 \text{ detik}$$

a. Menggunakan nomogram Van der Poel

Data-data yang diperlukan :

1. TRB (titik lembek) = $48,50\text{ }^{\circ}\text{C}$

2. Penetrasi $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ = $61,80$

Dari kedua nilai ini melalui *Nomogram Bitumen Grades Represented by spesification Areas in a Penetration $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ Us TRB* (Gambar 6.1) didapat nilai

PI sebesar = $-0,65$

3. Lama pembebanan (t) = $0,018$ detik

4. Nilai suhu antara :

Suhu antara = TRB - suhu rata-rata perkerasan

$$= (48,50 - 30)\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 18,50\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Dari nilai-nilai tersebut diatas, dengan menggunakan nomogram Van der Poel

(Gambar 3.1) maka didapat nilai kekakuan bitumen sebesar = $8,0 \times 10^6\text{ N/m}^2$

b. Menggunakan Formula Ullidz

$$S_b = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,176^{-PI_r} \times (SP_r - T)^5$$

$$t = 0,018 \text{ detik (asumsi untuk kecepatan } 50 \text{ km/jam)}$$

$$T = 30\text{ }^{\circ}\text{C (suhu rata-rata di Indonesia)}$$

$$Pr = 0,65 \times PI$$

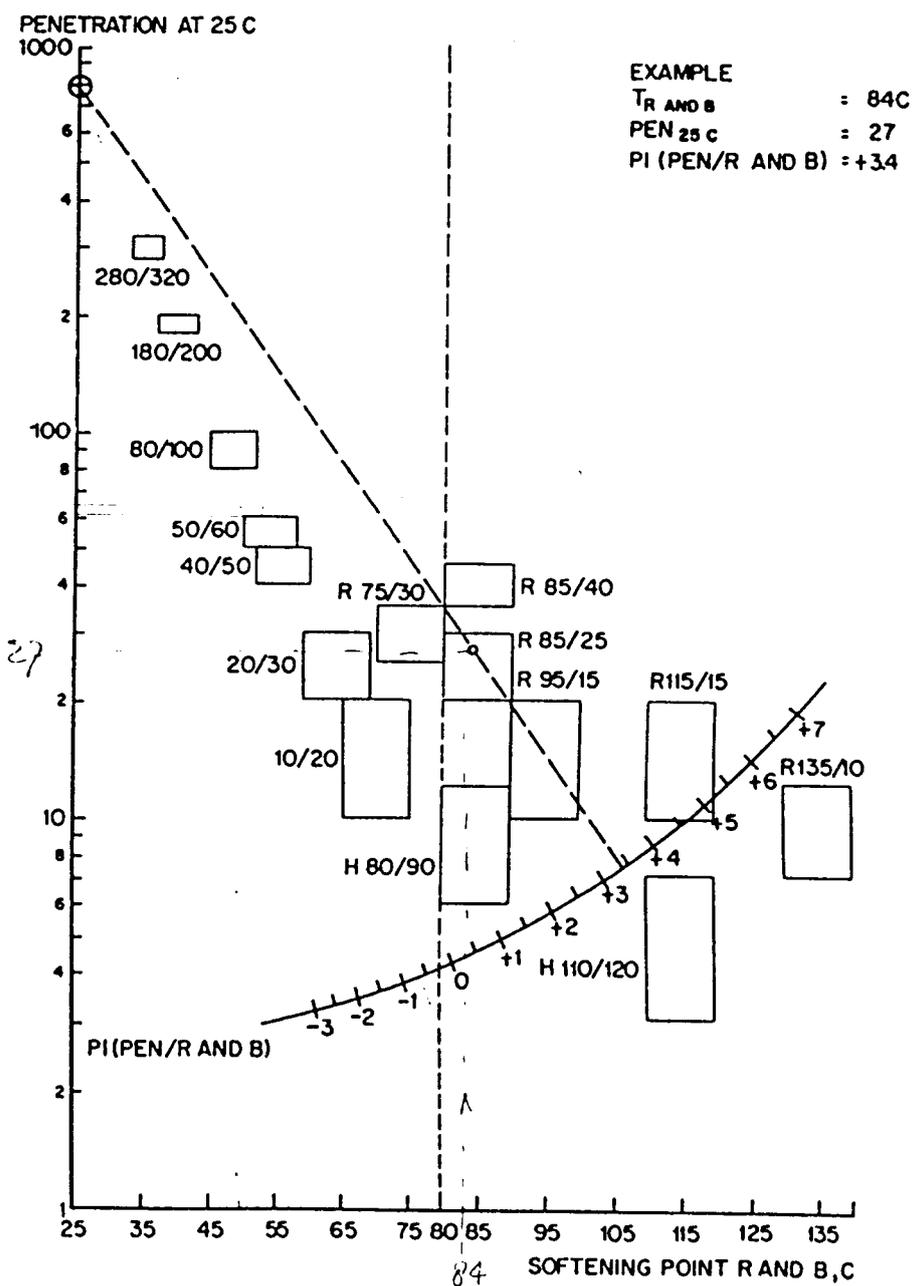
$$= 0,65 \times 61,80 = 40,170$$

$$SP_r = 98,4 - 26,35 \log Pr$$

$$= 98,4 - 26,35 \log 40,170$$

$$= 56,137$$





Gambar 6.1. Nomogram untuk menentukan nilai PI (penetrasi Index)

$$\begin{aligned}
 P_{Ir} &= \frac{27 \log PI - 21,65}{76,35 \log PI - 232,82} \\
 &= \frac{27 \log 61,80 - 21,65}{76,35 \log 61,80 - 232,82} \\
 &= -0,278
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_b &= 1,157 \times 10^{-7} \times 0,018^{-0,368} \times 2,718^{(-0,278)} \times (56,054 - 30)^5 \\
 &= 7,683 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \\
 &= 7,683 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Dari kedua cara yang digunakan untuk mencari nilai kekakuan bitumen ternyata didapat nilai yang tidak terlalu jauh berbeda. Tetapi dalam hal ini apabila digunakan temperatur rencana perkerasan yang semakin tinggi maka nilai modulus kekakuan bitumen akan semakin mengecil. Hal ini dikarenakan sifat dari bitumen yang “*thermoplastic*”. Semakin tinggi temperatur maka viskositasnya semakin menurun, sehingga modulus kekakuan bitumen akan menurun.

5. Modulus Kekakuan Campuran (S_{Mix})

Pada penelitian ini nilai modulus kekakuan campuran dicari dengan menggunakan formula **Heukelomp** dan **Klomp** serta nomogram dari shell.

a. Nomogram dari Shell

Sebagai contoh diambil data dari benda uji yang menggunakan variasi gradasi batuan ideal dengan kadar aspal 4%.

$$V_b = \frac{(100 - V_v) (MB/G_b)}{(MB/G_b) + (MA/G_a)}$$

$$V_v = \frac{(\sigma_{\max} - \sigma_m) \times 100}{\sigma_{\max}}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{100 \times \sigma_w}{(MB/G_b) + (MA/G_a)}$$

$$MA = \frac{1200 - 48}{1200} \times 100 \% = 96,00 \%$$

$$MB = \frac{48}{1200} \times 100 \% = 4,00 \%$$

$$\sigma_{\max} = \frac{100 \times 1}{(4,00/1,050) + (96,00/2,495)} = 2,365$$

$$V_v = \frac{(2,365 - 2,2500) \times 100}{2,365} = 4,855 \%$$

$$V_b = \frac{(100 - 4,863) (4,00/1,050)}{(4,00/1,050) + (96,00/2,495)} = 8,571 \%$$

$$V_v + V_b + V_g = 100 \%$$

$$V_g = 100 \% - V_v - V_b$$

$$= 100 \% - 4,855 \% - 8,571 \%$$

$$= 86,573 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas kemudian dicari nilai kekakuan campuran dengan menggunakan nomogram Shell (Gambar 3.2), didapat hasil kekakuan campuran (S mix) tersebut sebesar $= 4,4 \times 10^9 \text{ N/m}^2$.

Untuk mengetahui hasil perhitungan seluruh benda uji dapat dilihat pada tabel 6.8 berikut ini :

Tabel 6.8. Perhitungan kekakuan campuran dari nomogram Shell

Kadar aspal	Benda uji	Vv (%)	Vg (%)	Kekakuan campuran/ S M _{ix} (N/m ²)
4	x	4,855	86,573	4,4 x 10 ⁹
	y	3,164	88,112	7,0 x 10 ⁹
	z	6,124	85,419	3,3 x 10 ⁹
5	x	2,329	86,814	4,6 x 10 ⁹
	y	1,472	87,575	5,8 x 10 ⁹
	z	3,186	86,052	3,7 x 10 ⁹
6	x	1,072	85,900	3,6 x 10 ⁹
	y	1,506	85,523	3,2 x 10 ⁹
	z	1,506	85,523	3,2 x 10 ⁹
7	x	0,693	84,240	2,3 x 10 ⁹
	y	1,132	83,868	2,1 x 10 ⁹
	z	1,132	83,868	2,1 x 10 ⁹
8	x	0,781	82,228	1,5 x 10 ⁹
	y	0,781	82,228	1,5 x 10 ⁹
	z	3,006	80,385	1,0 x 10 ⁹

Dimana : x = benda uji dengan campuran ideal

y = benda uji dengan campuran di luar ring bagian atas

z = benda uji dengan campuran di luar ring bagian bawah

b. Formula Heukelomp dan Klomp

$$V_b = 8,571 \%$$

$$V_v = 4,855 \%$$

$$V_g = 86,573 \%$$

$$S_{Mix} = S_{Bit} \left[1 + \frac{2,5}{n} \times \frac{C_v}{1 - C_v} \right]^n$$

$$C_v = \frac{V_g}{V_g + V_b} = \frac{86,573}{86,573 + 8,571} = 0,910$$

karena harga $V_v > 3\%$, maka dicari harga C_v'

$$C_v' = \frac{C_v}{1 + 0,01 (V_v - 3)}$$

$$Cv' = \frac{0,910}{1 + 0,01 (4,855 - 3)} = 0,893$$

Syarat $Cb > 2/3 (1 - Cv')$

$$Cb = \frac{Vb}{Vb + Vg} = \frac{8,571}{8,571 + 86,573} = 0,090$$

$$2/3 (1 - 0,893) = 0,071$$

Jadi $Cb > 2/3 (1 - Cv')$

$$n = 0,83 \log \left[\frac{4 \times 10^{10}}{S_{\text{Bit}}} \right]$$

$$n = 0,83 \log \left[\frac{4 \times 10^{10}}{8,093 \times 10^6} \right] = 3,066$$

$$S_{\text{Mix}} = 8,093 \times 10^6 \left[1 + \frac{2,5}{3,066} \times \frac{0,893}{1 - 0,893} \right]^{3,066}$$

$$= 4473839639 \text{ N/m}^2$$

$$= 4473,839 \text{ Mpa}$$

Untuk perhitungan semua benda uji dengan formula diatas dapat dilihat pada tabel 6.9

Tabel 6.9. Perhitungan kekakuan campuran dengan menggunakan formula

Heukelomp dan Klomp

$$t = 0,018 ; T = 30 \text{ } ^\circ\text{C} ; S_{\text{Bit}} = 7,683 \times 10^6 \text{ N/m}^2 ; n = 3,066$$

Kadar	Benda	Vb (%)	Vg (%)	Vv (%)	Cv (%)	Cv' (%)	Cb	n	S _{max} (Mpa)
4	x	8,571	86,573	4,855	0,910	0,893	0,090	3,066	4473,839
	y	8,724	88,112	3,164	0,910	0,908	0,090	3,066	7064,401
	z	8,457	85,419	6,124	0,910	0,882	0,090	3,066	3337,858
5	x	10,857	86,814	2,329	0,889	0,895	0,111	3,066	4668,148
	y	10,952	87,575	1,472	0,889	0,903	0,111	3,066	5877,209
	z	10,762	86,052	3,186	0,889	0,887	0,111	3,066	3784,031
6	x	13,029	85,900	1,072	0,868	0,885	0,132	3,066	3608,107
	y	12,971	85,523	1,506	0,868	0,881	0,132	3,066	3265,263
	z	12,971	85,523	1,506	0,868	0,881	0,132	3,066	3265,263
7	x	15,067	84,240	0,693	0,848	0,868	0,152	3,066	2386,182
	y	15,000	83,868	1,132	0,848	0,864	0,152	3,066	2188,428
	z	15,000	83,868	1,132	0,848	0,864	0,152	3,066	2188,428
8	x	16,990	82,228	0,781	0,829	0,848	0,171	3,066	1545,610
	y	16,990	82,228	0,781	0,829	0,848	0,171	3,066	1545,610
	z	16,610	80,385	3,006	0,829	0,829	0,171	3,066	1095,081

B. Pembahasan

Sesuai dengan uraian dimuka bahwa penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku campuran beton aspal apabila menggunakan gradasi batuan yang berada diluar batas ring yang telah ditetapkan oleh Bina Marga. Perilaku campuran beton aspal ini diukur dari nilai stabilitas, kelelahan, persentase rongga dalam campuran (VIM) dan persentase rongga terisi aspal (VFB).

Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat dicapai oleh benda uji campuran beton aspal yang dinyatakan dalam satuan beban. Lalulintas jalan raya

dengan volume lalu lintas yang tinggi dan dilalui kendaraan berat menuntut stabilitas yang tinggi pula. Oleh karena itu nilai stabilitas diusahakan setinggi mungkin. Untuk lapis beton aspal yang dilalui kendaraan berat, Bina Marga menetapkan nilai stabilitas minimum sebesar 750 kg.

Kelelahan (flow) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm atau inch. Kelelahan merupakan indikator kelenturan campuran aspal beton tersebut dalam menahan beban lalu lintas. Campuran dengan kelelahan yang terlalu rendah akan menghasilkan lapis perkerasan yang kaku dan getas, sehingga mudah terjadi retak. Sedangkan campuran dengan kelelahan yang terlalu tinggi akan bersifat terlalu plastis, sehingga mudah berubah bentuk. Untuk itu Bina Marga telah menetapkan nilai kelelahan berdasarkan besarnya beban lalu lintas yang melaluinya. Jalan dengan lalu lintas berat ditetapkan nilai kelelehannya sebesar 2 - 4 mm.

Nilai VIM (Void In the Mix) adalah besarnya persentase rongga yang terdapat didalam campuran beton aspal yang telah dipadatkan. Besarnya nilai VIM dalam suatu lapisan campuran beton aspal akan berpengaruh terhadap kekuatan serta keawetan. Campuran dengan nilai VIM yang tinggi menandakan campuran tersebut mempunyai volume rongga yang lebih besar, hal ini akan menyebabkan masuknya air dan udara ke dalam lapisan aspal beton sehingga mengakibatkan berkurangnya sifat lekat (adhesi) dari aspal, sehingga lapis perkerasan menjadi lebih cepat rusak. Sebaliknya campuran dengan nilai VIM yang rendah, akan menyebabkan terjadinya bleeding. Hal ini dikarenakan rongga yang terdapat pada campuran lapis perkerasan sangat kecil, sehingga tidak memungkinkan terjadinya pemadatan tambahan yang diakibatkan oleh

beban lalu lintas. Perkerasan jadi bersifat kaku dan pada saat temperatur tinggi aspal akan terdesak keatas permukaan. Karena itu lapis perkerasan beton aspal harus mempunyai nilai VIM tertentu agar hal tersebut diatas dapat dihindari. Untuk itu Bina Marga telah menetapkan syarat nilai VIM (persentase rongga dalam campuran) suatu campuran beton aspal sebesar 3 - 5 %.

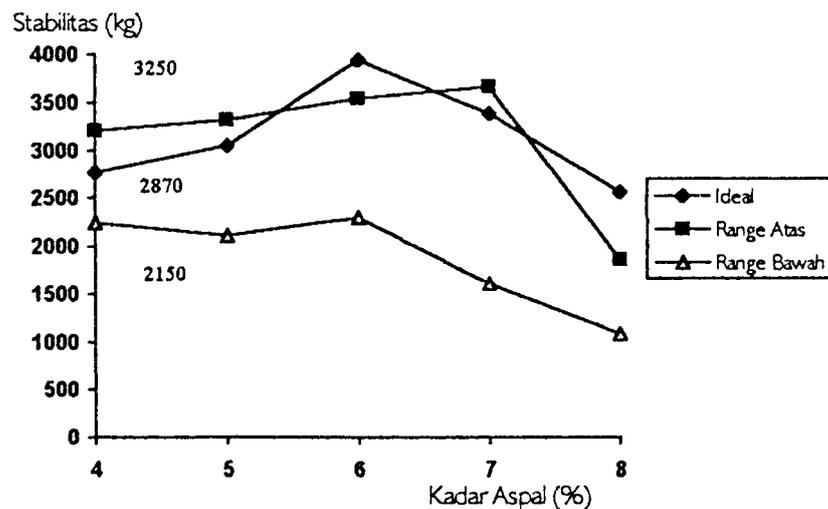
Nilai VFB (Void Filled with Bitumen) adalah persentase rongga diantara butir-butir agregat yang terisi aspal. Nilai VFB ini menunjukkan jumlah kandungan aspal dan juga kandungan rongga dalam campuran. Nilai VFB yang rendah menandakan bahwa jumlah aspal yang mengisi rongga antar butir agregat sedikit, berarti jumlah volume rongga udaranya besar. Hal ini akan menyebabkan keawetan lapis perkerasan berkurang. Sebaliknya nilai VFB yang besar akan menyebabkan terjadinya bleeding.

Pada pembahasan berikut ini data yang digunakan sebagai bahan pembandingan terhadap hasil penelitian adalah data dengan kadar aspal optimum sebesar 4,5 %. Adapun nilai yang akan dibandingkan antara campuran yang ideal dengan campuran yang berada diluar batas ring spesifikasi tersebut berupa nilai stabilitas, kelelahan, VIM, VFB, serta kekakuan campuran.

1. Stabilitas.

Dari gambar 6.2 terlihat bahwa campuran beton aspal yang menggunakan agregat dengan gradasi batuan ideal maupun yang berada diluar batas ring spesifikasi mempunyai nilai stabilitas yang berada diatas nilai yang telah ditetapkan oleh Bina Marga sebesar minimal 750 kg. Tetapi pada kondisi kadar aspal optimum sebesar 4,5%, campuran beton aspal dengan penggunaan variasi gradasi batuan diluar ring

bagian atas mempunyai nilai stabilitas yang tertinggi dibandingkan nilai stabilitas yang dihasilkan dari campuran beton aspal lainnya, yaitu sebesar 3250 kg. Nilai stabilitas ini bila dibandingkan dengan nilai yang dihasilkan oleh campuran ideal sebesar 2870 kg, berarti mengalami kenaikan sebesar 13,24 %. Hal ini dapat terjadi karena campuran beton aspal yang menggunakan variasi gradasi batuan diluar ring bagian atas dengan penambahan angka sebesar 3 %, mempunyai perbandingan antara jumlah berat tertahan untuk agregat kasar dan halus hampir menyerupai campuran yang ideal sehingga sifat saling mengunci diantara agregat lebih baik. Sedangkan, pada campuran beton aspal yang menggunakan variasi agregat yang berada diluar batas ring bagian bawah terjadi sebaliknya. Perbandingan jumlah tertahan untuk agregat kasarnya hampir sama banyak sehingga sifat saling mengunci dari campuran menjadi berkurang.



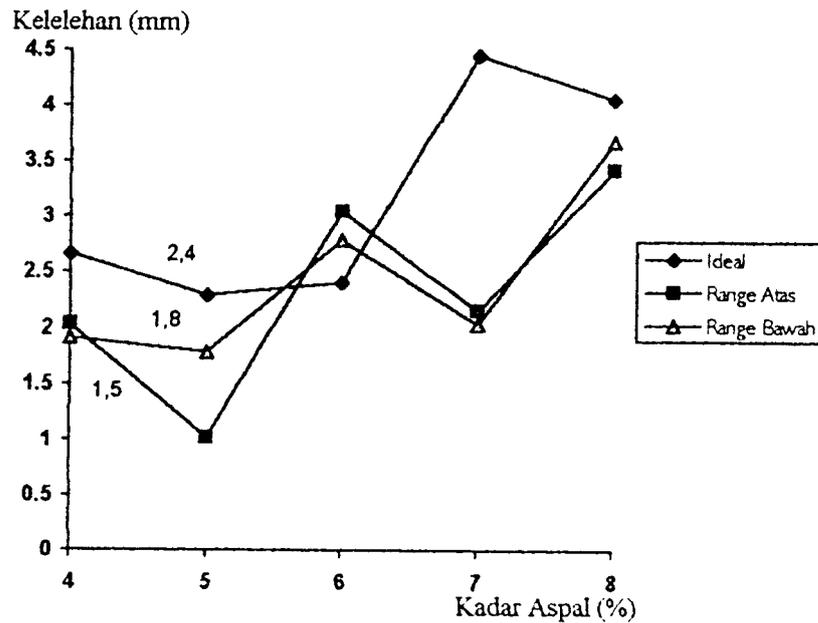
Gambar 6.2. Grafik hubungan kadar aspal dengan stabilitas

Ini dapat dilihat dari gambar 6.2, nilai stabilitas yang dihasilkan dari campuran beton aspal hanya mencapai nilai 2150 kg. Sehingga bila dibandingkan dengan nilai stabilitas yang dihasilkan oleh campuran yang ideal nilai stabilitas campuran mengalami penurunan sebesar 25,08 %.

2. kelelahan

Pada gambar 6.3 grafik yang dihasilkan pada pengujian nilai flow terlihat semakin tinggi kadar aspalnya, maka kelelahan campuran beton aspal tersebut semakin tinggi pula. Dengan tinjauan terhadap campuran beton aspal yang ideal serta kadar aspal optimum sebesar 4,5 %, pada penelitian ini nilai flow dari campuran beton aspal yang berada diluar batas ring bagian atas dan ring bagian bawah mempunyai nilai yang berada dibawah batas yang telah ditetapkan oleh Bina Marga yaitu sebesar 2 mm - 4 mm. Pada grafik dapat juga dilihat nilai flow yang dihasilkan dari campuran ideal sebesar 2,4 mm, sedangkan campuran beton aspal yang berada diluar batas ring bagian atas dan bawah mengalami penurunan nilai flow menjadi 1,5 mm dan 1,8 mm.

Penurunan nilai flow dari campuran beton aspal yang berada diluar batas ring bagian bawah dapat terjadi karena jumlah berat tertahan terhadap gradasi batuan kasarnya mempunyai jumlah yang sama banyak sehingga campuran sedikit menyerap aspal. Sedangkan penurunan nilai flow pada campuran beton aspal menggunakan variasi agregat yang berada diluar batas ring bagian atas penurunan nilai flow disebabkan jumlah berat tertahan untuk masing-masing ukuran agregat yang digunakan hampir sama banyak, ini menyebabkan campuran beton aspal mempunyai sifat saling mengunci sehingga aspal sulit untuk menumpuk pada rongga yang ada.

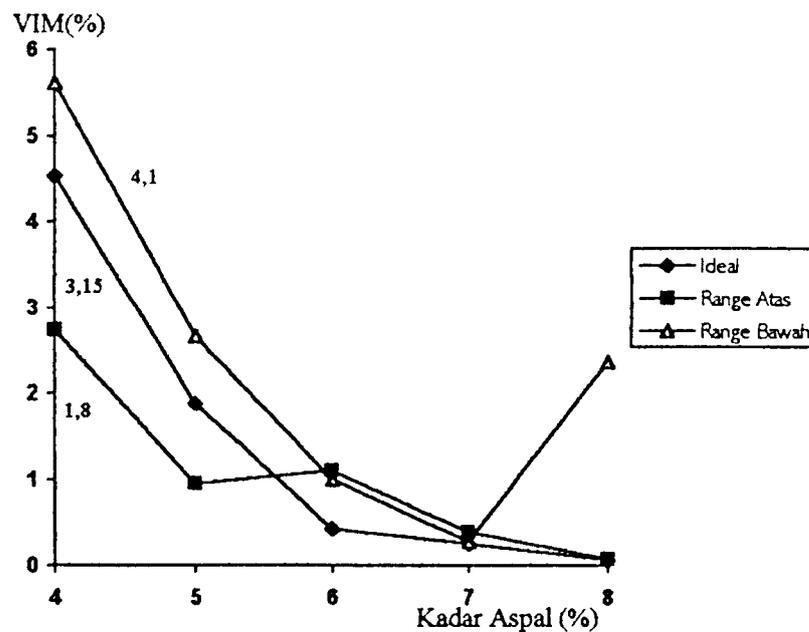


Gambar 6.3. Grafik hubungan kadar aspal dengan kelelahan

3. VIM (Void In the Mix)

Nilai rongga dalam campuran (VIM) dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran tersebut. Dengan bertambahnya kadar aspal maka jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butir agregat juga bertambah sehingga volume rongga dalam campuran beton aspal akan berkurang (gambar 6.4). Dari penelitian yang telah dilakukan, pada gambar grafik terlihat bahwa untuk campuran beton aspal dengan kadar aspal optimum, campuran dengan gradasi batuan ideal mempunyai nilai sebesar 3,15 %. Nilai VIM ini hampir mendekati batas yang telah ditetapkan oleh Bina Marga sebesar 3% - 5%. Diluar batas ring bagian bawah campuran mempunyai nilai VIM sebesar 4,1%. Ini lebih

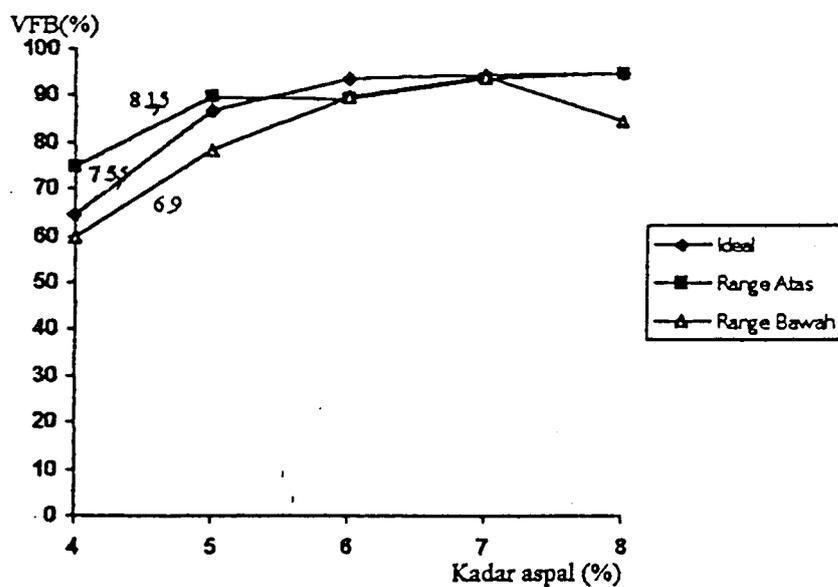
baik dari campuran dengan gradasi ideal. Sedangkan pada campuran dengan variasi agregat yang berada diluar batas bagian atas nilai VIM yang dihasilkan jauh berada diluar batas yang telah disyaratkan, yaitu sebesar 1,8%. Nilai VIM ini dapat terjadi karena pada campuran dengan variasi agregat yang berada diluar batas atas ini perbandingan antara agregat kasar dan agregat halus yang digunakan bervariasi sehingga sifat saling menguncinya menjadi lebih baik. Oleh karena sifat saling mengunci lebih baik maka rongga yang dihasilkan pada campuran menjadi lebih sedikit.



Gambar 6.4. Grafik hubungan kadar aspal dengan VIM

4. VFB (Void Filled with Bitument)

Seperti halnya VIM, pada gambar 6.5 terlihat bahwa persentase rongga terisi aspal (VFB) juga dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran tersebut. Semakin tinggi kadar aspal yang digunakan maka persentase rongga antar agregat yang terisi aspal akan semakin tinggi pula. Dengan tinjauan terhadap campuran beton aspal yang ideal serta kadar aspal optimum sebesar 4,5 %, pada grafik terlihat bahwa campuran beton aspal dengan menggunakan gradasi ideal mempunyai nilai sebesar 75,5 %, untuk campuran dengan variasi agregat di luar ring atas menunjukkan nilai sebesar 81,5 %, serta untuk campuran dengan gradasi yang berada di luar batas ring bagian bawah nilai VFB yang dihasilkan sebesar 69 %.



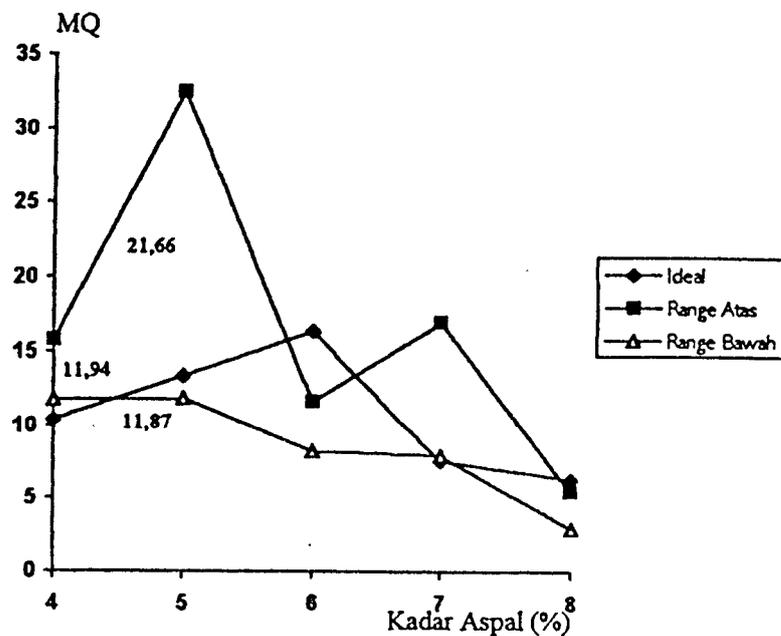
Gambar 6.5. Grafik hubungan kadar aspal dengan VFB

Untuk nilai VFB campuran ideal dan campuran yang berada di luar batas ring bagian atas ternyata memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh Bina Marga yaitu sebesar 75 % - 82 %. Sedangkan untuk campuran yang menggunakan variasi agregat yang berada di luar batas bagian bawah nilai VFB yang terjadi hanya mendekati nilai yang telah disyaratkan. Hal ini dapat terjadi karena pada saat kadar aspal optimum campuran dengan menggunakan agregat di luar batas ring bagian bawah aspal banyak yang terserap oleh agregat halus, sehingga rongga yang terisi aspalnya tidak begitu sempurna.

5. Marshall Quotient

Marshall Quotient adalah suatu cara pendekatan untuk mengetahui tingkat kekakuan campuran beton aspal. Nilai Marshall Quotient ini merupakan hasil bagi dari nilai stabilitas dengan nilai kelelahan (flow). Pada keadaan stabilitas tinggi disertai dengan kelelahan yang rendah, maka sifat dari campuran akan menjadi kaku dan mudah getas, tetapi sebaliknya pada keadaan stabilitas rendah dengan tingkat kelelahan yang tinggi maka sifat dari campuran akan menjadi terlalu plastis sehingga akan berakibat perkerasan mengalami penurunan yang besar bila menerima beban lalu lintas. Dengan tinjauan pada kadar aspal optimum, pada gambar 6.6. terlihat bahwa nilai Marshall Quotient untuk campuran yang menggunakan variasi gradasi batuan diluar ring bagian atas mempunyai nilai yang tinggi yaitu sebesar 2166,67 kg/mm, dibandingkan dengan campuran ideal yang sebesar 1187,50 kg/mm atau dibandingkan dengan campuran yang menggunakan variasi gradasi batuan di luar batas ring bagian bawah yang sebesar 1194,44 kg/mm. Ini menandakan bahwa campuran yang

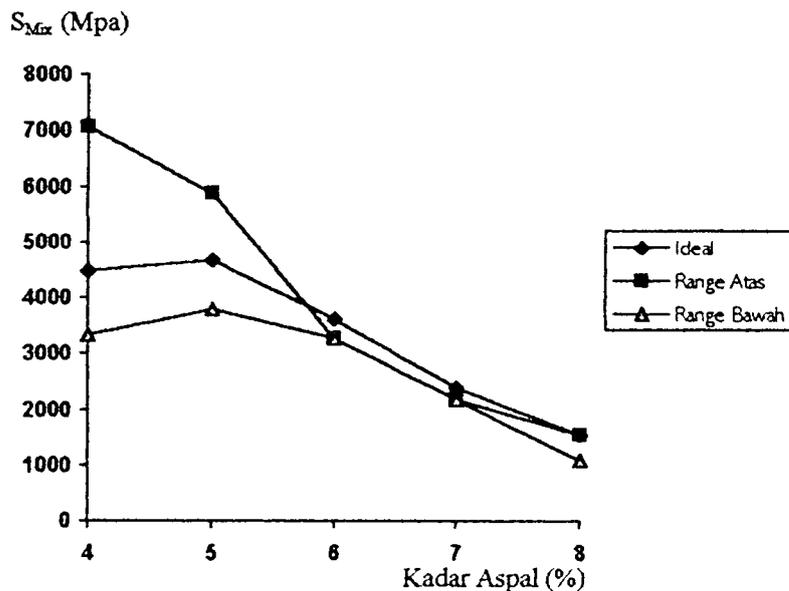
menggunakan variasi agregat di luar batas ring bagian atas mempunyai kelenturan yang rendah.



Gambar 6.6. Grafik hubungan kadar aspal dengan MQ

6. Modulus Kekakuan (Stiffness)

Dari hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan formula **Heukelomp** dan **Klomp** terlihat bahwa pada gambar 6.7, grafik nilai modulus kekakuan menunjukkan penurunan dengan bertambahnya jumlah kadar aspal yang terdapat dalam suatu campuran beton aspal. Selain itu, juga dapat dilihat bahwa nilai Modulus Kekakuan untuk campuran diluar ring bagian bawah lebih mendekati nilai kekakuan campuran ideal



Gambar 6.7. Grafik hubungan kadar aspal dengan S_{mix}

C. Tinjauan terhadap spesifikasi Bina Marga

Dari hasil pengujian Test Marshall terhadap semua benda uji dengan lima variasi kadar aspal, ternyata yang memenuhi seluruh persyaratan yang telah ditentukan oleh Bina Marga adalah yang menggunakan variasi agregat sesuai dengan spesifikasi. Hal ini ditinjau dari jumlah kandungan kadar aspal optimum sebesar 4,5 %.

Untuk campuran beton aspal yang menggunakan variasi agregat di luar ring spesifikasi, berdasarkan hasil penelitian terhadap semua benda uji ternyata tidak semua persyaratan dapat terpenuhi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada hasil perhitungan yang terdapat di tabel 6.10 berikut ini.

Tabel 6.10. Hasil perhitungan untuk nilai stabilitas, flow, VIM, dan VFB pada keadaan kadar aspal optimum sebesar 4,5 %.

Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi Bina Marga	Campuran ideal	Campuran diluar ring atas	Campuran diluar ring bawah
1. Stabilitas (Kg)	750	2850	3250	2150
2. Kelelehan (mm)	2 - 4	2,40	1,50	1,80
3. VIM (%)	3 - 5	3,15	1,80	4,10
4. VFB (%)	75 - 82	75,5	81,5	69