

BAB VI

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

6.1. Hasil Penelitian Laboratorium

6.1.1 Hasil Pemeriksaan Bahan

Hasil pemeriksaan bahan-bahan yang digunakan untuk campuran HRS B yang dilakukan di laboratorium meliputi pengujian agregat dan aspal adalah seperti pada tabel 6.1, tabel 6.2 dan tabel 6.3.

Tabel 6.1 Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

No	Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	≤ 40 %	20,56 %	Memenuhi
2	Kelekatan terhadap aspal (%)	≥ 95 %	99 %	Memenuhi
3	Penyerapan terhadap air (%)	≤ 3 %	1,270 %	Memenuhi
4	Berat jenis semu	$\geq 2,5$	2,740	Memenuhi

Sumber : DPU, Laston, SKBI-2.4.26.1987 dan hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.2 Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

No	Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 50 %	57,41 %	Memenuhi
2	Penyerapan terhadap air (%)	≤ 3 %	2,249 %	Memenuhi
3	Berat jenis semu	$\geq 2,5$	2,778	Memenuhi

Sumber : DPU, Laston, SKBI-2.4.26.1987 dan hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.3 Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Aspal Keras AC 60-70

No	Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi (25°C, 5 detik) (0,1 mm)	60 – 79	69,8	Memenuhi
2	Titik lembek (<i>Ring and ball</i>) (°C)	48 – 58	51	Memenuhi
3	Titik nyala (<i>Cleveland open cup</i>) (°C)	≥ 200	327	Memenuhi
4	Kelarutan dalam CCL ₄ (%)	≥ 99	99,02	Memenuhi
5	Daktilitas (25°C, 5 cm/menit) (cm)	≥ 100	126,5	Memenuhi
6	Berat jenis	≥ 1,0	1,04	Memenuhi

Sumber : DPU, Laston, SKBI-2.4.26.1987 dan hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

6.1.2 Hasil Pengujian Benda Uji

HRS B mempunyai sifat yang sama dengan bahan laston yang dipakai untuk lalu lintas berat sehingga persyaratan yang digunakan untuk HRS B sama dengan persyaratan laston untuk lalu lintas berat seperti pada tabel 6.4.

Tabel 6.4 Persyaratan Lapis Aspal Beton Untuk Lalu Lintas Berat

No	Sifat Campuran	Satuan	Persyaratan
1	Stabilitas	Kg	≥ 550
2	<i>Flow</i>	mm	2,0 – 4,0
3	<i>Density</i>	gr/cc	-
4	<i>Void Filled With Asphal</i> (VFWA)	%	-
5	<i>Void in Total Mix</i> (VITM)	%	3 – 5
6	<i>Marshall Quotient</i> (MQ)	kg/mm	200 – 350

Sumber : DPU, Laston, SKBI-2.4.26.1987

Data hasil pengujian *Marshall* untuk campuran HRS B yang menggunakan *sludge* sebagai *filler* dan semen portland sebagai *filler* dapat dilihat pada tabel 6.5 dan tabel 6.6.

Tabel 6.5 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler* Semen Portland

Kadar Aspal (%)	Kode	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VITM (%)	VFWA (%)	Density (gr/cc)	Marshall Quotient (Kg/mm)
6,0	1 - C	1600.849	2.50	6.357	67.328	2.271	640.340
	2 - C	2218.195	1.90	5.242	71.661	2.298	1167.471
	3 - C	1625.642	2.25	8.465	60.201	2.220	722.507
	Rerata	1814.895	2.22	6.688	66.397	2.263	843.439
6,5	1 - C	1789.918	2.65	4.780	74.986	2.293	675.441
	2 - C	2171.993	2.30	5.044	73.908	2.286	944.345
	3 - C	1747.976	2.47	4.756	75.083	2.293	707.683
	Rerata	1903.296	2.47	4.860	74.659	2.291	775.823
7,0	1 - C	1520.182	2.50	1.607	90.784	2.352	608.073
	2 - C	2040.681	2.47	1.544	91.122	2.354	826.187
	3 - C	2081.886	2.50	1.064	93.734	2.365	832.754
	Rerata	1880.916	2.49	1.405	91.880	2.357	755.671
7,5	1 - C	2019.765	2.50	1.446	92.109	2.340	807.906
	2 - C	1896.718	2.50	1.167	93.548	2.347	758.687
	3 - C	1658.362	2.55	1.531	91.675	2.338	650.338
	Rerata	1858.282	2.52	1.381	92.444	2.342	738.977
8,0	1 - C	1196.891	2.95	1.684	91.373	2.318	405.726
	2 - C	1676.426	3.00	0.877	95.351	2.337	558.809
	3 - C	1442.596	3.45	1.241	93.521	2.329	418.144
	Rerata	1438.638	3.13	1.267	93.415	2.328	460.893

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.6 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge*

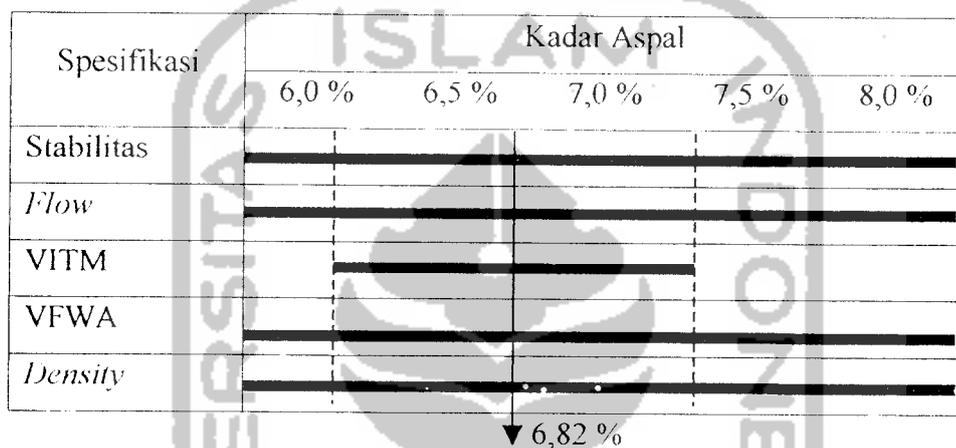
Kadar Aspal (%)	Kode	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VITM (%)	VFWA (%)	Density (gr/cc)	Marshall Quotient (Kg/mm)
6,0	1 – S	1920.420	2.60	7.005	64.525	2.209	738.623
	2 – S	1839.338	1.64	6.025	68.125	2.232	1121.548
	3 – S	1422.345	2.30	7.005	64.525	2.209	618.411
	Rerata	1727.368	2.18	6.679	65.725	2.216	826.194
6,5	1 – S	2105.660	2.10	4.617	75.281	2.250	1002.695
	2 – S	2202.695	2.10	4.312	76.589	2.257	1048.902
	3 – S	2303.414	2.00	4.312	76.589	2.257	1151.707
	Rerata	2203.923	2.07	4.414	76.153	2.255	1067.768
7,0	1 – S	2061.052	2.10	3.418	81.674	2.263	981.453
	2 – S	2099.398	2.00	3.603	80.842	2.259	1049.699
	3 – S	1905.925	1.95	3.787	80.027	2.254	977.397
	Rerata	2022.125	2.02	3.602	80.848	2.259	1002.850
7,5	1 – S	2124.900	3.70	2.075	88.792	2.279	574.297
	2 – S	2137.411	3.00	2.685	85.884	2.265	712.470
	3 – S	1516.675	2.00	2.685	85.884	2.265	758.337
	Rerata	1926.329	2.90	2.481	86.853	2.270	681.702
8,0	1 – S	1429.329	3.80	1.618	91.533	2.274	376.145
	2 – S	1565.170	3.10	1.252	93.346	2.283	504.894
	3 – S	1728.949	3.35	1.204	93.586	2.284	516.104
	Rerata	1574.490	3.42	1.358	92.822	2.280	465.714

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

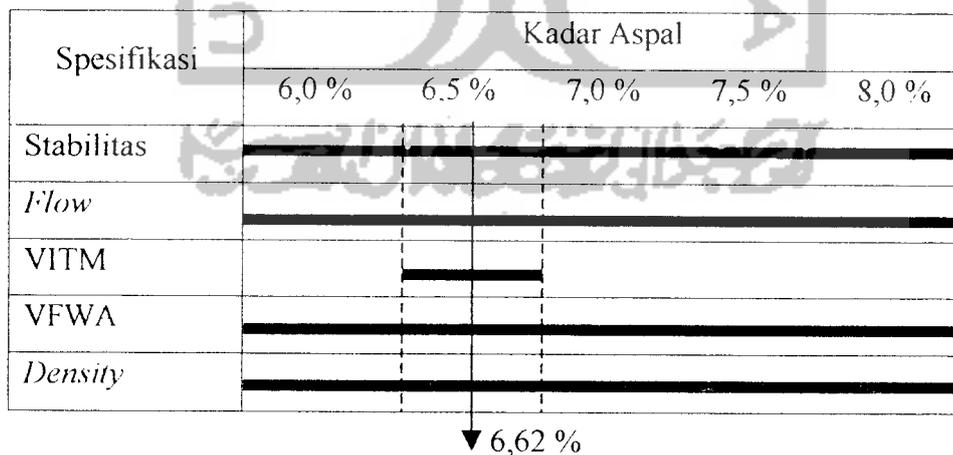
Dari data tersebut diatas kemudian digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum pada campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* maupun *filler* semen portland sebagai pembandingan. Kadar aspal optimum adalah jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agar dapat mencapai persyaratan berdasarkan *stabilitas*, *flow*, VITM, VFWA dan *density*.

Penentuan kadar aspal optimum pada campuran menggunakan metode Bina Marga. Nilai kadar aspal optimum diperoleh dengan cara sebagai berikut.

Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi berdasarkan nilai stabilitas (≥ 550), *flow* (2,0 – 4,0), VITM (3% – 5%), VFWA dan *density*. Nilai-nilai tersebut diambil dari nilai rata-rata masing-masing kadar aspal pada tabel 6.5 dan tabel 6.6. Berdasarkan garis yang telah diplotkan pada gambar spesifikasi kadar aspal, dicari batas terdalam dari kanan maupun dari kiri gambar tersebut. Nilai tengah diantara kedua batas tersebut merupakan kadar aspal optimum.



Gambar 6.1 Kadar Aspal Optimum untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge*



Gambar 6.2 Kadar Aspal Optimum untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler Semen Portland*

Berdasarkan gambar 6.1 dan gambar 6.2 diatas, kadar aspal optimum untuk campuran HRS B menggunakan *filler sludge* adalah 6,82 % sedangkan untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland adalah 6,62 %.

Pengujian yang dilakukan untuk masing-masing kadar aspal optimum adalah pengujian *Marshall* dan pengujian *Imersion* untuk perendaman selama 24 jam. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 6.7 dan tabel 6.8.

Tabel 6.7 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Campuran HRS B

Jenis Filler	Kode	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VITM (%)	VFWA (%)	Density (gr/cc)	Marshall Quotient (Kg/mm)
Sludge	1 – S	2101.351	2.80	2.730	84.585	2.285	750.483
	2 – S	1866.235	0.80	2.730	84.585	2.285	2332.978
	3 – S	1862.928	2.90	4.245	77.652	2.249	642.389
	Rerata	1943.554	2.17	3.235	82.274	2.273	1241.389
Semen Portland	1 – C	1808.948	2.35	0.805	94.960	2.384	769.765
	2 – C	2113.794	4.40	0.961	94.036	2.381	480.408
	3 – C	2524.378	1.80	1.329	91.908	2.372	1402.432
	Rerata	2149.040	2.85	1.032	93.635	2.379	884.202

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.8 Hasil Pengujian *Imersion* untuk Campuran HRS B

Jenis Filler	Kode	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VITM (%)	VFWA (%)	Density (gr/cc)	Marshall Quotient (Kg/mm)
Sludge	1 – S	2043.142	2.65	3.687	80.094	2.262	770.997
	2 – S	1814.405	3.70	2.468	85.890	2.291	490.380
	3 – S	2124.293	2.45	2.730	84.585	2.285	867.058
	Rerata	1993.947	2.93	2.962	83.523	2.279	709.478
Semen Portland	1 – C	2216.745	2.50	1.650	90.117	2.364	886.698
	2 – C	1633.889	2.60	0.909	94.344	2.382	628.419
	3 – C	2238.151	3.70	0.676	95.743	2.387	604.906
	Rerata	2029.595	2.93	1.078	93.401	2.378	706.674

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

6.1.3 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Campuran Aspal – *Sludge*

Untuk mengetahui pengaruh *sludge* terhadap aspal maka dilakukan pemeriksaan penetrasi terhadap campuran aspal *sludge* tersebut. Berat aspal yang digunakan dalam campuran aspal – *sludge* adalah 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 % dari berat campuran *Marshall* (1200 gram), sedangkan berat *sludge* yang digunakan adalah 5 % dari berat agregat yang digunakan pada campuran *Marshall* dengan kadar aspal 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 %.

Hasil pemeriksaan penetrasi campuran aspal – *sludge* tersebut dapat dilihat pada tabel 6.9.

Tabel 6.9 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Campuran Aspal – *Sludge*

No	Kadar Aspal Terhadap Campuran <i>Marshall</i>	Berat Aspal (gram)	Berat <i>Sludge</i> (gram)	Nilai Penetrasi (0.1 mm)
1	6,0 %	72	56,4	29
2	6,5 %	78	56,1	31
3	7,0 %	84	55,8	33
4	7,5 %	90	55,5	42
5	8,0 %	96	55,2	49

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UIN

6.2 Pembahasan

6.2.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan dari lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang atau alur. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa

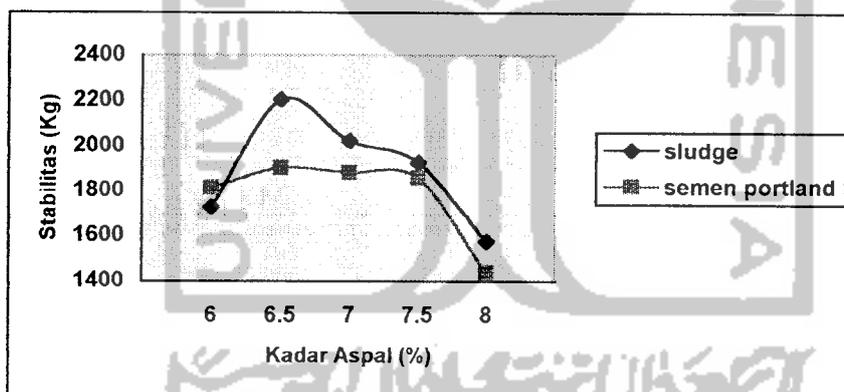
perkerasan tersebut mampu menahan beban lalu lintas yang besar. Nilai stabilitas pada aspal beton dipengaruhi oleh suhu pemadatan, gradasi agregat, kadar serta jenis aspal, bentuk agregat dan kohesi campuran. Jika nilai stabilitas dari campuran terlalu besar maka perkerasan tersebut akan semakin kaku dan cenderung menjadikan perkerasan tersebut bersifat getas.

Nilai stabilitas hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.10 dan gambar 6.3 berikut ini.

Tabel. 6.10 Nilai Stabilitas (Kg) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis <i>Filler</i>	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
<i>Sludge</i>	1727.368	2203.923	2022.125	1926.329	1574.490
Semen Portland	1814.895	1903.296	1880.916	1858.282	1438.638

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UH



Gambar 6.3 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Berdasarkan gambar 6.3 terlihat bahwa nilai stabilitas semakin bertambah dengan bertambahnya kadar aspal sampai batas optimum dan kembali menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini dimungkinkan karena jika dilihat fungsi dari aspal sebagai bahan perekat, penggunaan aspal yang rendah tidak akan maksimum dalam menyelimuti permukaan agregat sehingga kekompakan ikatan antar agregat berkurang dan stabilitas dari campuran tersebut

akan berkurang pula. Dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran akan memberikan lapisan film aspal yang semakin tebal sehingga dapat menyelimuti permukaan agregat dengan baik dan memperkokoh ikatan antar agregat sampai pada batas optimum. Seiring dengan bertambahnya kadar aspal melewati kadar aspal optimum akan memberikan lapisan film aspal yang lebih tebal, hal ini akan membuat jarak ikatan antar agregat penyusun menjadi lebih besar dan mengurangi gaya gesek antar agregat serta mengubah fungsi dari aspal tersebut sebagai bahan perekat menjadi pelicin dalam campuran. Kondisi tersebut mengurangi kestabilan dari campuran karena campuran cenderung bersifat plastis.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa stabilitas campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih tinggi dibandingkan dengan stabilitas campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland, padahal nilai *density* pada campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland lebih besar seperti terlihat pada gambar 6.7. Hal ini menunjukkan bahwa campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland memiliki ketahanan terhadap deformasi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge* walaupun memiliki kepadatan yang lebih tinggi. Perilaku tersebut terjadi karena campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* mempunyai nilai kekakuan yang lebih tinggi seperti terlihat pada gambar 6.10 dan gambar 6.11 sehingga kemampuan untuk menahan beban yang diberikan akan lebih besar.

Nilai stabilitas campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* mulai meningkat pada kadar aspal 6 % dan mencapai batas optimum pada kadar aspal 6,5 % dengan nilai stabilitas sebesar 2203,92 Kg dan menurun setelah kadar aspal

tersebut. Begitupula dengan nilai stabilitas campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland mulai meningkat pada kadar aspal 6 % dan mencapai batas optimum pada kadar aspal 6,5 % dengan nilai stabilitas 1903,30 Kg dan menurun setelah kadar aspal tersebut. Dari hasil penelitian yang dilakukan untuk nilai stabilitas, kedua macam campuran HRS B tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu ≥ 550 Kg.

6.2.2 Flow

Flow adalah besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai pada batas keruntuhan dan dinyatakan dalam satuan panjang (mm).

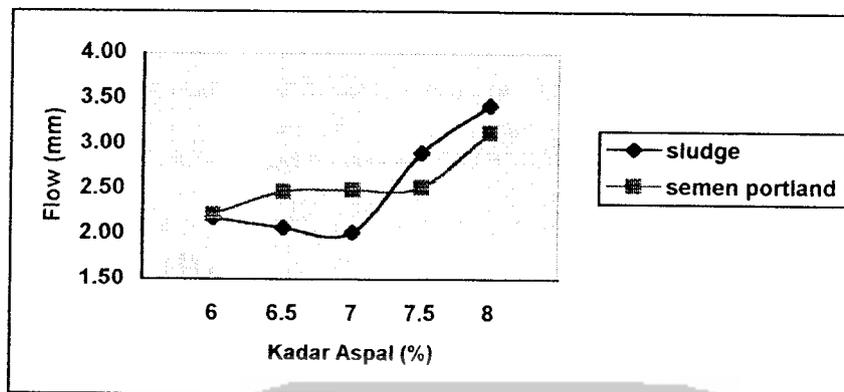
Flow menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada campuran aspal beton panas akibat beban yang bekerja padanya. Campuran yang memiliki *flow* yang rendah dan stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa campuran tersebut bersifat kaku. Sebaliknya, nilai *flow* yang tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk akibat beban lalu lintas.

Nilai *flow* hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.11 dan gambar 6.4 sebagai berikut ini.

Tabel. 6.11 Nilai *Flow* (mm) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis <i>Filler</i>	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
<i>Sludge</i>	2.18	2.07	2.02	2.90	3.42
Semen Portland	2.22	2.47	2.49	2.52	3.13

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.4 Grafik Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Berdasarkan gambar 6.4, terlihat bahwa dari hasil penelitian menunjukkan semua benda uji mempunyai nilai *flow* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga antara 2,0 mm – 4,0 mm. Nilai *flow* untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih kecil untuk kadar aspal 6,0 % – 7,0 % jika dibandingkan dengan nilai *flow* untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland. Hal ini terjadi karena campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland seperti terlihat pada gambar 6.10 dan gambar 6.11 sehingga kemungkinan akan terjadinya deformasi lebih kecil.

Nilai *flow* untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* mulai menurun pada kadar aspal 6,0 % dan mencapai batas optimum pada kadar aspal 7,0 % dan kemudian meningkat setelah kadar aspal tersebut. Hal ini disebabkan karena fungsi aspal sebagai bahan perekat pada kadar aspal 6,0% – 6,5 % belum maksimum menyelimuti permukaan agregat sehingga kekompakan dalam campuran berkurang yang mengakibatkan kemungkinan terjadinya deformasi akan lebih besar. Aspal pada campuran yang mempunyai kadar aspal 7,0 % dapat berfungsi maksimal sebagai bahan perekat yang mampu menyelimuti seluruh

permukaan agregat dengan baik dan memberikan kekompakan dalam campuran yang berakibat mengurangi terjadinya deformasi. Pada kadar aspal lebih besar dari 7,0 %, aspal tidak dapat berfungsi secara optimal dikarenakan kadar aspal yang terlalu banyak di dalam campuran sehingga merubah fungsi aspal tersebut dari bahan perekat menjadi pelicin yang berdampak pada campuran yang menjadi lebih plastis dan kemungkinan terjadinya deformasi yang lebih besar.

6.2.3 *Void In Total Mix (VITM)*

VITM adalah banyaknya rongga yang ada pada suatu campuran, yang dipengaruhi oleh gradasi agregat, suhu pemadatan, energi pemadatan dan kadar aspal serta jenis aspal. Nilai VITM berpengaruh terhadap kekedapan campuran yaitu kekedapan terhadap udara dan air. Nilai VITM yang tinggi menunjukkan bahwa campuran tersebut mempunyai rongga yang tinggi, hal ini dapat menyebabkan perkerasan tersebut menjadi *porous* sehingga akan mengurangi sifat keawetan dan kekedapan terhadap pengaruh udara dan air. Dalam campuran harus tersedia cukup rongga terisi udara yang fungsinya untuk menyediakan ruang gerak bagi unsur-unsur campuran sesuai dengan sifat elastisitasnya.

Nilai VITM yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah 3 % – 5 %. Lapis perkerasan yang mempunyai nilai VITM kurang dari 3 % akan mudah terjadi *bleeding*. Hal ini disebabkan oleh tingginya temperatur perkerasan sehingga aspal akan mencair dan pada saat perkerasan menerima beban, aspal akan mengalir di antara rongga agregat, jika dalam campuran tidak memiliki rongga yang cukup, aspal akan naik ke permukaan perkerasan yang menyebabkan terjadinya *bleeding*. Sebaliknya nilai VITM yang lebih besar dari 5 % menunjukkan bahwa banyak

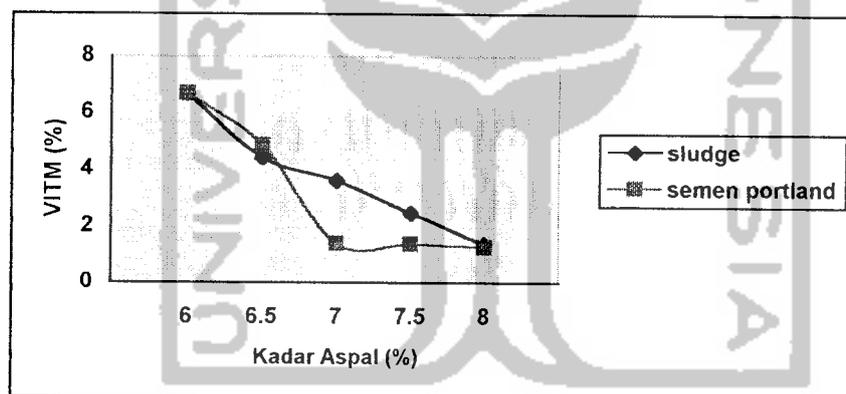
terjadi rongga dalam campuran sehingga campuran tidak rapat dan tidak kedap terhadap udara dan air, hal ini menyebabkan aspal mudah teroksidasi yang berakibat melemahnya ikatan aspal terhadap agregat yang selanjutnya aspal tidak lagi menjadi bahan ikat yang baik dan agregat akan lepas dari ikatan (*raveling*).

Nilai VITM hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.12 dan gambar 6.5 berikut ini.

Tabel. 6.12 Nilai VITM (%) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis <i>Filler</i>	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
<i>Sludge</i>	6.679	4.414	3.602	2.481	1.358
Semen Portland	6.688	4.860	1.405	1.381	1.267

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.5 Grafik Hubungan VITM dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Berdasarkan gambar 6.5 terlihat bahwa nilai VITM berkurang seiring bertambahnya kadar aspal dalam campuran. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya kadar aspal, lebih banyak pori dalam campuran yang terisi oleh aspal sehingga rongga antar agregat dalam campuran menjadi lebih sedikit.

Nilai VITM campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler semen portland*. Ini menunjukkan bahwa prosentase pori dalam campuran HRS B yang menggunakan

filler semen portland lebih kecil. Hal tersebut terjadi karena *sludge* memiliki berat jenis yang lebih kecil dari semen portland maka pada berat yang sama *sludge* memiliki volume yang lebih besar. Hal ini menyebabkan lapisan aspal pada campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih tipis pada kadar aspal yang sama jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland. Pada kondisi ini, *viskositas* aspal semakin meningkat dan menyebabkan bertambahnya rongga udara yang terbentuk dalam campuran sehingga meningkatkan nilai VITM.

Berdasarkan hasil penelitian, nilai VITM campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga adalah pada kadar aspal 6,5 % dan 7,0 %, sedangkan pada campuran yang menggunakan *filler* semen portland yang memenuhi nilai VITM adalah pada kadar aspal 6,0 %.

6.2.4 Void Filled With Asphalt (VFWA)

Nilai VFWA menunjukkan besarnya rongga yang terisi aspal yang dinyatakan dalam persen aspal terhadap rongga. Besarnya nilai VFWA berpengaruh pada kedapatan campuran terhadap udara dan air yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap keawetan suatu perkerasan.

Untuk nilai VFWA yang besar berarti semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga kedapatan campuran terhadap air dan udara menjadi lebih tinggi. Nilai VFWA yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya *bleeding* atau naiknya aspal kepermukaan perkerasan. Hal ini disebabkan karena rongga yang ada terlalu kecil sehingga jika perkerasan menerima beban, terutama pada temperatur yang tinggi dan *viskositas* aspal turun, sebagian aspal akan mencari

tempat yang kosong dan jika rongga telah penuh maka aspal akan naik ke permukaan perkerasan.

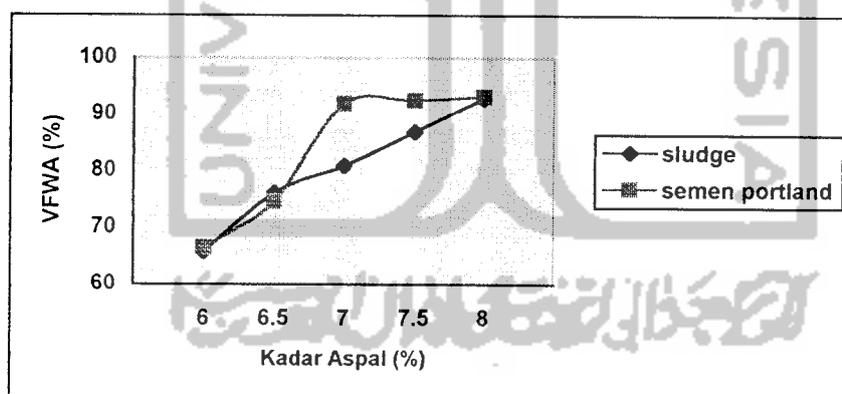
Nilai VFWA yang terlalu kecil menyebabkan kekedapan campuran menjadi berkurang karena banyak rongga yang kosong. Hal tersebut diatas akan memudahkan masuknya udara dan air yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi sehingga keawetan campuran tersebut berkurang.

Nilai VFWA hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.13 dan gambar 6.6 berikut ini.

Tabel. 6.13 Nilai VFWA (%) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis <i>Filler</i>	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
<i>Sludge</i>	65.725	76.153	80.848	86.853	92.822
Semen Portland	66.397	74.659	91.880	92.444	93.415

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.6 Grafik Hubungan VFWA dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Pada gambar 6.6 tampak bahwa nilai VFWA campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* *sludge*. Hal ini berkaitan erat dengan nilai VITM, dimana campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland lebih kecil jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* *sludge*.

Dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran, nilai VITM akan semakin menurun sedangkan nilai VFWA akan semakin naik.

Dari hasil pengujian terlihat bahwa nilai VFWA semakin bertambah seiring dengan bertambahnya kadar aspal, hal ini dikarenakan dengan bertambahnya kadar aspal semakin banyak rongga yang terisi aspal. Kadar aspal yang rendah mengakibatkan nilai VFWA yang rendah dan menunjukkan berat aspal dalam total campuran yang rendah pula, permukaan agregat hanya dilapisi oleh lapisan tipis aspal, sehingga rongga antar agregat yang diisi oleh aspal juga rendah. Sebaliknya, pada kadar aspal yang tinggi, berat aspal dalam campuran tinggi pula, sehingga permukaan agregat akan dilapisi oleh aspal yang tinggi. Lapisan aspal yang lebih tebal tersebut akan memungkinkan aspal untuk mengisi rongga antar agregat.

Nilai VFWA campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge*. Hal ini terjadi karena *sludge* memiliki berat jenis yang lebih kecil dari semen portland maka pada berat yang sama *sludge* memiliki volume yang lebih besar. Hal ini menyebabkan lapisan aspal pada campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih tipis pada kadar aspal yang sama jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland. Pada kondisi ini, *viskositas* aspal semakin meningkat dan menyebabkan bertambahnya rongga udara yang terbentuk dan pada kadar aspal yang sama menyebabkan rongga yang terisi aspal lebih sedikit.

6.2.5 Density

Nilai kepadatan campuran (*density*) menunjukkan derajat kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Nilai ini mencerminkan tingkat kepadatan dari suatu campuran, makin tinggi nilai *density* berarti campuran tersebut makin padat. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban lebih berat dibandingkan dengan campuran dengan nilai *density* yang rendah. Nilai *density* dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusunnya dan pelaksanaan pemadatan, baik suhu pemadatan maupun jumlah tumbukan.

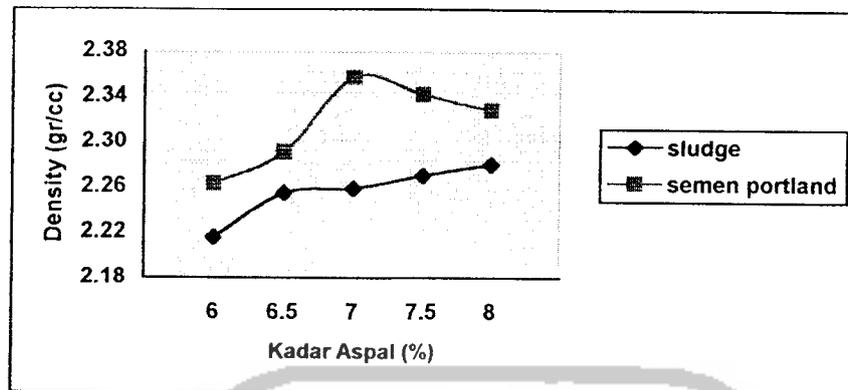
Campuran akan memiliki nilai *density* yang tinggi apabila memakai bahan yang memiliki porositas rendah serta campuran dengan rongga antar agregat yang rendah. Nilai *density* juga akan meningkat jika energi pemadatan tinggi serta pada suhu pemadatan yang tepat. Peningkatan prosentase pemakaian aspal yang cukup juga akan meningkatkan nilai *density* campuran.

Nilai *density* hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.14 dan gambar 6.7 berikut ini.

Tabel. 6.14 Nilai *Density* (gr/cc) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis <i>Filler</i>	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
<i>Sludge</i>	2.216	2.255	2.259	2.270	2.280
Semen Portland	2.263	2.291	2.357	2.342	2.328

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.7 Grafik Hubungan *Density* dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Seperti terlihat pada gambar 6.7, nilai *density* semakin bertambah seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya kadar aspal akan menyediakan aspal yang lebih banyak untuk mengisi rongga dalam campuran sehingga campuran lebih padat yang berarti nilai *density* semakin bertambah pula.

Nilai *density* campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* *sludge*. Hal ini dikarenakan oleh perbedaan berat jenis dari kedua macam *filler* yang digunakan. Sehingga dengan berat yang sama, *sludge* yang memiliki berat jenis yang lebih kecil mempunyai volume yang lebih besar, hal ini menyebabkan bahan pengisi pada campuran HRS B yang menggunakan *filler* *sludge* lebih banyak. Nilai *density* merupakan perbandingan antara massa dan volume, sehingga campuran HRS B yang menggunakan *filler* *sludge* memiliki volume yang lebih besar akan mempunyai nilai *density* yang lebih kecil.

6.2.6 Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan suatu campuran.

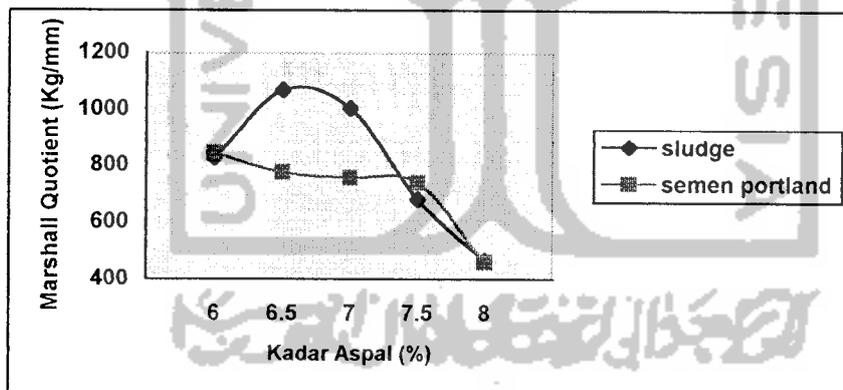
Stabilitas yang tinggi yang disertai dengan keelehan yang rendah akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku dan bersifat getas, sebaliknya stabilitas yang rendah dengan keelehan yang tinggi akan menghasilkan campuran yang terlalu elastis dan akan berakibat perkerasan mengalami deformasi yang besar jika menerima beban lalu lintas.

Nilai *Marshall Quotient* hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.15 dan gambar 6.8 berikut ini.

Tabel. 6.15 Nilai *Marshall Quotient* (Kg/mm) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis <i>Filler</i>	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
<i>Sludge</i>	826.194	1067.768	1002.850	681.702	465.714
Semen Portland	843.439	775.823	755.671	738.977	460.893

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.8 Grafik Hubungan MQ dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Dari gambar 6.8 terlihat bahwa nilai *Marshall Quotient* untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler semen portland*. Hal ini dikarenakan campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi dan nilai *flow* yang lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa campuran

tersebut bersifat lebih getas. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa dari kedua jenis campuran HRS B tersebut tidak ada yang memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu 200 – 350 Kg mm.

6.2.7 *Imersion Test*

Imersion Test atau uji perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu dan cuaca. Waktu perendaman benda uji pada *Imersion Test* adalah selama 24 jam pada suhu konstan 60°C. Kadar aspal yang digunakan untuk *Imersion Test* pada penelitian ini adalah kadar aspal optimum untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* maupun untuk campuran yang menggunakan *filler* semen portland.

Hasil penelitian diperoleh nilai stabilitas dengan waktu perendaman 30 menit dan waktu perendaman 24 jam seperti pada tabel 6.16.

Tabel 6.16 Nilai Stabilitas (Kg) Campuran HRS B Kadar Aspal Optimum

Jenis <i>Filler</i>	Waktu Perendaman	
	30 Menit	24 Jam
<i>Sludge</i>	2149.040	2029.595
Semen Portland	1943.554	1993.947

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Dari hasil *Imersion Test* menunjukkan bahwa terdapat kenaikan nilai stabilitas untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland pada perendaman 24 jam. Hal ini dikarenakan sifat semen portland yang dapat bereaksi dengan air sehingga menambah ikatan dalam campuran yang berdampak pada peningkatan nilai stabilitas campuran tersebut. Hal tersebut terjadi karena pada saat pencampuran antara aspal, agregat dan *filler*, aspal tidak dapat menyelimuti permukaan *filler* dengan baik sehingga terjadi ruang dimana permukaan *filler*

tidak terselimuti aspal yang menyebabkan semen portland sebagai *filler* dapat bereaksi dengan air yang berdampak pada peningkatan nilai stabilitas. Sedangkan pada campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* menunjukkan kecenderungan menurunnya nilai stabilitas setelah mengalami perendaman selama 24 jam.

Indeks tahanan campuran (*index of retained strength*) akibat pengaruh air, suhu dan cuaca dapat dihitung dengan membandingkan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam dan nilai stabilitas campuran dengan waktu perendaman 30 menit.

Hasil perhitungan indeks tahanan campuran kedua jenis benda uji adalah seperti dibawah ini.

1. Campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland

$$\begin{aligned}
 \text{Index of retained strength} &= \frac{S_2}{S_1} * 100 \% \\
 &= \frac{1993 \text{ .947}}{1943 \text{ .554}} * 100 \% \\
 &= 102.59 \%
 \end{aligned}$$

2. Campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge*

$$\begin{aligned}
 \text{Index of retained strength} &= \frac{S_2}{S_1} * 100 \% \\
 &= \frac{2029 \text{ .595}}{2149 \text{ .040}} * 100 \% \\
 &= 94.44 \%
 \end{aligned}$$

Nilai stabilitas campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland terlihat mengalami peningkatan sebesar 2,59 % pada periode perendaman selama 24 jam. Hal ini disebabkan oleh pengaruh semen portland yang bereaksi dengan air selama periode perendaman.

Hasil penelitian ini memiliki kesamaan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ilan Ishai dan Joseph Craus dengan judul penelitian *Effect of The Filler on Aggregate-Bitumen Adhesion Properties in Bituminous Mixtures*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan campuran yang menggunakan *filler hydrated lime* mengalami peningkatan kekuatan selama periode perendaman untuk seluruh kadar *filler hydrated lime* pada temperatur tinggi yaitu pada suhu 60°C sampai dengan lebih dari 120 % dari nilai *resilient modulus* awal untuk kondisi optimum setelah periode perendaman selama 30 hari. Alasan untuk perilaku ini adalah proses kimia-fisis pada permukaan *mastic-agregat hydrated lime* oleh keberadaan air, dipercepat dan diintensifkan selama periode perendaman bertemperatur tinggi.

Kesimpulan dari hasil penelitian untuk campuran yang menggunakan *filler hydrated lime* yang dilakukan tersebut adalah *stripping potensial* meningkat seiring dengan peningkatan penyerapan air, temperatur perendaman, waktu perendaman dan kejenuhan *vakum*. Penggunaan *filler hydrated lime* pada campuran pasir-aspal meningkatkan *adhesi potensial* secara mendasar pada campuran pasir-aspal dengan ditambahkan air. Penurunan kekuatan yang diakibatkan oleh kondisi lingkungan yang berbeda, berada pada batas-batas yang dapat diterima, bahkan setelah 30 hari periode perendaman.

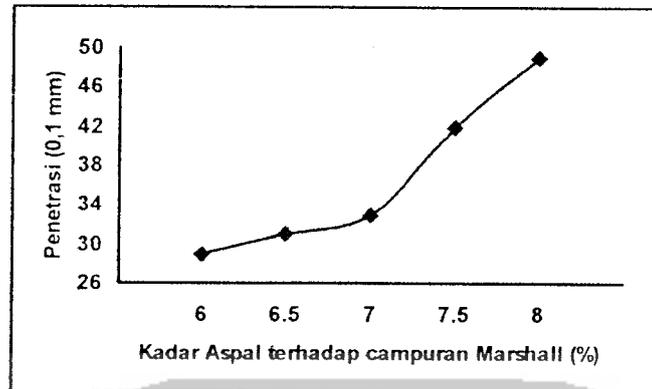
Berdasarkan indeks tahanan dari kedua campuran tersebut menunjukkan bahwa campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan oleh pengaruh air, suhu dan cuaca jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge*. Namun kedua campuran tersebut memiliki indeks tahanan campuran yang memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu lebih besar dari 75 %.

6.2.8 Tinjauan Campuran Aspal – *Sludge*

Pemeriksaan penetrasi aspal – *sludge* bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan campuran aspal – *sludge*. Pemeriksaan dengan memasukkan jarum penetrasi berdiameter 1 mm dengan menggunakan beban seberat 50 gram, sehingga diperoleh beban gerak seberat 100 gram (berat jarum dan beban) selama 5 detik dengan temperatur 25°C.

Hasil penelitian pada campuran aspal – *sludge* diperoleh nilai penetrasi seperti pada tabel 6.9 dan gambar 6.9.

Pada gambar 6.9 terlihat nilai penetrasi campuran aspal – *sludge* semakin bertambah seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran aspal – *sludge* akan menurunkan kekentalan campuran tersebut, sebaliknya dengan semakin bertambahnya kadar *sludge* dalam campuran tersebut akan meningkatkan *viskositas* campuran sehingga campuran tersebut akan lebih mampu untuk menerima beban lalu lintas yang lebih berat dan lebih tahan terhadap pengaruh temperatur yang tinggi.



Gambar 6.9 Grafik Hubungan Nilai Penetrasi Campuran Aspal - *Sludge*

6.3 Modulus Kekakuan

6.3.1 Kekakuan Bitumen (*Bitument Stiffness*)

Kekakuan bitumen adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada bitumen yang besarnya tergantung pada temperatur dan lamanya pembebanan.

Pada perhitungan nilai kekakuan bitumen, temperatur perkerasan (T) yang digunakan adalah temperatur perkerasan rata-rata di Indonesia yaitu 30°C. Panjang jejak roda kendaraan (s) diasumsikan 25 cm dan kecepatan kendaraan (v) diasumsikan 50 Km/jam. Metode yang digunakan dalam perhitungan ini adalah dengan menggunakan nomogram Van Der Poel dan persamaan yang diturunkan oleh Ullidz.

6.3.1.1 Kekakuan Bitumen dengan Menggunakan Nomogram Van Der Poel

Waktu pembebanan (t)

$$t = \frac{s}{v}$$

$$= \frac{0.25 * 3600}{50000}$$

$$= 0.018 \text{ detik} \dots\dots\dots (1)$$

Titik lembek aspal (Trb) = 51 °C

Penetrasi aspal pada suhu 25°C (Pi) = 70 (0,1 mm)

$$\text{Suhu antara (Trb - T)} = 51 - 30 = 21 \text{ °C} \dots\dots\dots (2)$$

Penetration Index (PIr)

$$PIr = \frac{27 \log PI - 21.65}{76.35 \log PI - 232.82}$$

$$= \frac{27 \log 70 - 21.65}{76.35 \log 70 - 232.82}$$

$$= -0,306 \dots\dots\dots (3)$$

Dari data pada persamaan (1), (2) dan (3) dengan menggunakan nomogram Van Der Poel (gambar 3.7) maka didapat nilai kekakuan bitumen sebesar $6,0 * 10^6 \text{ N/m}^2$

6.3.1.2 Kekakuan Bitumen dengan Menggunakan Persamaan Ullidz

$$Pr = 0,65 Pi$$

$$= 0,65 * 70$$

$$= 45,5 (0,1 \text{ mm})$$

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

$$= 98,4 - 26,35 \log 45,5$$

$$= 54,71 (0,1 \text{ mm})$$

$$\begin{aligned}
 S_b &= 1,157 * 10^{-7} * t^{-0,368} * 2,718^{-Pr} * (SP_r - T)^5 \\
 &= 1,157 * 10^{-7} * 0,018^{-0,368} * 2,718^{-(0,306)} * (54,71 - 30)^5 \\
 &= 6,348003193 \text{ Mpa} \\
 &= 6,34 * 10^6 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

Dilihat dari kedua hasil tersebut diatas dalam mencari nilai kekakuan bitumen, baik dengan menggunakan nomogram Van Der Poel maupun dengan menggunakan persamaan Ullidz didapatkan hasil yang tidak terlalu jauh.

6.3.2 Kekakuan Campuran (*Mix Stiffness*)

Kekakuan campuran adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada campuran aspal beton yang besarnya tergantung pada temperatur dan lamanya pembebanan. Metode yang digunakan dalam menentukan kekakuan campuran ini adalah dengan metode Shell dan metode Heukelom dan Klomp.

6.3.2.1 Kekakuan dengan Metode Shell

Sebagai contoh perhitungan, digunakan sampel benda uji untuk campuran HRS B dengan menggunakan *filler sludge* dengan kadar aspal 6 %. Data yang diperlukan adalah seperti dibawah ini.

- Kekakuan bitumen (S_{bit}) = $6,34 * 10^6 \text{ N/m}^2$
- Perbandingan berat agregat dengan total berat campuran (M_a) = 94 %
- Perbandingan berat bitumen dengan total berat campuran (M_b) = 6 %
- Berat jenis campuran agregat (G_a) = 2,587
- Berat jenis bahan ikat aspal (G_b) = 1,040
- Berat volume campuran padat (τ_m) = $2,211 \text{ T/m}^3$
- Berat volume air (τ_w) = $1,0 \text{ T/m}^3$

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= \frac{100 * \tau_w}{\left(\frac{Mb}{Gb} \right) + \left(\frac{Ma}{Ga} \right)} \\ &= \frac{100 * 1,0}{\left(\frac{6,0}{1,040} \right) + \left(\frac{94}{2,587} \right)} \\ &= 2,375 \text{ T/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_v &= \frac{(\tau_{\max} - \tau_m) * 100}{\tau_{\max}} \\ &= \frac{(2,375 - 2,211) * 100}{2,375} \\ &= 6,902 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_b &= \frac{(100 - V_v) * \left(\frac{Mb}{Gb} \right)}{\left(\frac{Mb}{Gb} \right) + \left(\frac{Ma}{Ga} \right)} \\ &= \frac{(100 - 6,902) * \left(\frac{6,0}{1,040} \right)}{\left(\frac{6,0}{1,040} \right) + \left(\frac{94}{2,587} \right)} \\ &= 12,756 \%\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}V_g &= 100 \% - 6,902 \% - 12,756 \% \\ &= 80,342 \%\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, dicari nilai kekakuan campuran dengan nomogram seperti pada gambar 3.8 maka didapat nilai kekakuan campuran (S_{mix}) sebesar $9,40 * 10^8 \text{ N/m}^2$.

Hasil perhitungan kekakuan untuk campuran HRS B baik yang menggunakan *filler sludge* maupun yang menggunakan *filler* semen portland dengan menggunakan metode Shell dapat dilihat pada tabel 6.17 dan tabel 6.18.

Tabel 6.17 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge* dengan Metode Shell

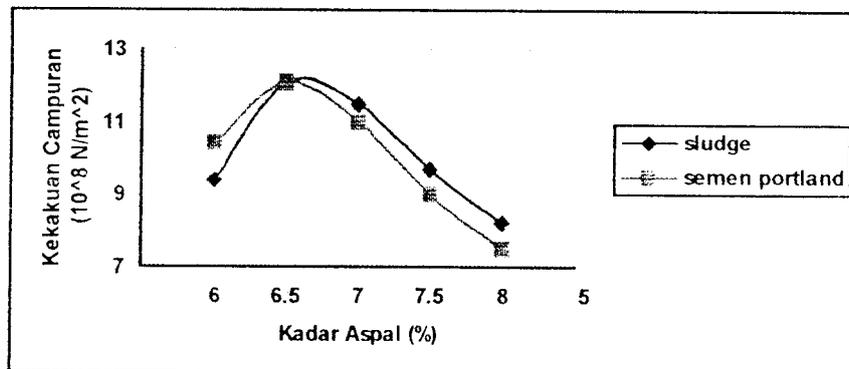
Kadar Aspal	Vv (%)	Vb (%)	Vg (%)	S mix (N/m ²)
6.0 %	6.902	12.756	80.342	9.40 * 10 ⁸
6.5 %	4.008	14.152	81.839	12.10 * 10 ⁸
7.0 %	3.138	15.276	81.586	11.50 * 10 ⁸
7.5 %	1.735	16.493	81.773	9.70 * 10 ⁸
8.0 %	0.325	17.726	81.949	8.20 * 10 ⁸
6.82 % (<i>Marshall</i>)	3.311	14.892	81.796	12.00 * 10 ⁸
6.82 % (<i>Imersion</i>)	2.573	15.006	82.421	12.50 * 10 ⁸

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.18 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler* Semen Portland dengan Metode Shell

Kadar Aspal	Vv (%)	Vb (%)	Vg (%)	S mix (N/m ²)
6.0 %	5.857	13.170	80.973	10.40 * 10 ⁸
6.5 %	3.637	14.501	81.862	12.10 * 10 ⁸
7.0 %	1.442	15.861	82.697	11.00 * 10 ⁸
7.5 %	0.986	16.954	82.060	9.00 * 10 ⁸
8.0 %	1.262	17.909	80.829	7.50 * 10 ⁸
6.62 % (<i>Marshall</i>)	0.640	15.202	84.158	12.80 * 10 ⁸
6.62 % (<i>Imersion</i>)	1.205	15.116	83.679	12.80 * 10 ⁸

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.10 Grafik Hubungan Kekakuan Campuran Menggunakan Metode Shell dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

6.3.2.2 Kekakuan dengan Metode Heukellom dan Klomp

Sebagai contoh perhitungan, digunakan sampel benda uji untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* dengan kadar aspal 6 % dan kadar aspal 7,5 %.

1. Campuran HRS B menggunakan *filler sludge* kadar aspal 6 %.

Data yang diperlukan :

- Prosentase volume pori (V_v) = 6,902 %
- Prosentase volume bitumen (V_b) = 12,756 %
- Prosentase volume agregat (V_g) = 80,342 %

$$C_v = \frac{V_g}{V_g + V_b}$$

$$= \frac{80,342}{80,342 + 12,756}$$

$$= 0,863$$

Karena harga $V_v > 3$ %, maka dicari harga C_v

$$\begin{aligned}
 C_v' &= \frac{C_v}{1 + 0,01 (I_v - 3)} \\
 &= \frac{0,863}{1 + 0,01 (6,902 - 3)} \\
 &= 0,831
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{V_b}{V_g + V_b} \\
 &= \frac{12.756}{80.342 + 12.756} \\
 &= 0,137
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat } C_b &> 2/3 (1 - C_v) \\
 0,137 &> 2/3 (1 - 0,831) \\
 0,137 &> 0,113
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= 0,83 \log \left(4 * \frac{10^{10}}{S_{bit}} \right) \\
 &= 0,83 \log \left(4 * \frac{10^{10}}{6,34 * 10^6} \right) \\
 &= 3,154
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{mix} &= S_{bit} \left[1 + \frac{2,5}{n} * \frac{C_v}{(1 - C_v)} \right]^n \\
 &= 6,34 * 10^6 \left[1 + \frac{2,5}{3,154} * \frac{0,831}{(1 - 0,831)} \right]^{3,154} \\
 &= 9,44 * 10^8 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

2. Campuran HRS B menggunakan *filler* semen portland kadar aspal 7,5 %.

Data yang diperlukan seperti dibawah ini.

- Prosentase volume pori (V_v) = 1,735 %
- Prosentase volume bitumen (V_b) = 16,493 %
- Prosentase volume agregat (V_g) = 81,773 %

$$C_v = \frac{V_g}{V_g + V_b}$$

$$= \frac{81,773}{81,773 + 16,493}$$

$$= 0,832$$

$$n = 0,83 \log \left(4 * \frac{10^{10}}{S_{hu}} \right)$$

$$= 0,83 \log \left(4 * \frac{10^{10}}{6,34 * 10^6} \right)$$

$$= 3,154$$

$$S_{mix} = S_{hu} \left[1 + \frac{2,5}{n} * \frac{C_v}{(1 - C_v)} \right]^n$$

$$= 6,34 * 10^6 \left[1 + \frac{2,5}{3,154} * \frac{0,832}{(1 - 0,832)} \right]^{3,154}$$

$$= 9,71 * 10^8 \text{ N/m}^2$$

Hasil perhitungan kekakuan untuk campuran HRS B baik yang menggunakan *filler sludge* maupun yang menggunakan *filler* semen portland dengan menggunakan metode Heukellom dan Klomp dapat dilihat pada tabel 6.19 dan tabel 6.20.

Tabel 6.19 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge* dengan Metode Heukellom dan Klomp

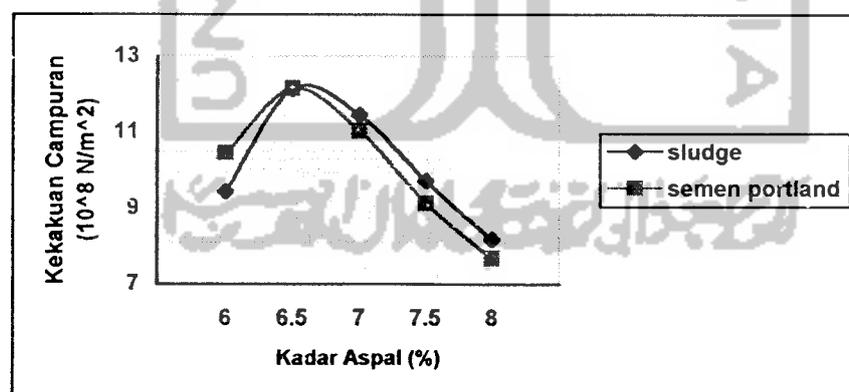
Kadar Aspal	Vv (%)	Vb (%)	Vg (%)	Cv	Cv'	Cb	S mix (N/m ²)
6.0 %	6.902	12.756	80.342	0.863	0.831	0.137	9.44 * 10 ⁸
6.5 %	4.008	14.152	81.839	0.853	0.844	0.147	12.13 * 10 ⁸
7.0 %	3.138	15.276	81.586	0.842	0.841	0.158	11.46 * 10 ⁸
7.5 %	1.735	16.493	81.773	0.832	-	-	9.71 * 10 ⁸
8.0 %	0.325	17.726	81.949	0.822	-	-	8.17 * 10 ⁸
6.82 % (<i>Marshall</i>)	3.311	14.892	81.796	0.846	0.843	0.154	11.96 * 10 ⁸
6.82 % (<i>Imersion</i>)	2.573	15.006	82.421	0.846	-	-	12.59 * 10 ⁸

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.20 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler Semen Portland* dengan Metode Heukellom dan Klomp

Kadar Aspal	Vv (%)	Vb (%)	Vg (%)	Cv	Cv'	Cb	S mix (N/m ²)
6.0 %	5.857	13.170	80.973	0.860	0.836	0.140	10.45 * 10 ⁸
6.5 %	3.637	14.501	81.862	0.850	0.844	0.150	12.15 * 10 ⁸
7.0 %	1.442	15.861	82.697	0.839	-	-	11.03 * 10 ⁸
7.5 %	0.986	16.954	82.060	0.829	-	-	9.14 * 10 ⁸
8.0 %	1.262	17.909	80.829	0.819	-	-	7.68 * 10 ⁸
6.62 % (<i>Marshall</i>)	0.640	15.202	84.158	0.847	-	-	12.85 * 10 ⁸
6.62 % (<i>Imersion</i>)	1.205	15.116	83.679	0.847	-	-	12.85 * 10 ⁸

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.11 Grafik Hubungan Kekakuan Campuran Menggunakan Metode Heukellom dan Klomp dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Dari gambar 6.11 terlihat nilai kekakuan untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* pada kadar aspal 6,0 % dan 6,5 % lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler semen portland*,

sebaliknya pada kadar aspal 7,0 %, 7,5 % dan 8,0 % memiliki nilai kekakuan campuran yang lebih tinggi.

Dari gambar terlihat pula bahwa campuran HRS B baik yang menggunakan *filler sludge* maupun yang menggunakan *filler* semen portland memiliki pola yang sama, yaitu memiliki nilai kekakuan yang meningkat dari kadar aspal 6,0 % sampai pada kadar aspal 6,5 % dan menurun setelah kadar aspal tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar aspal pada campuran akan meningkatkan nilai kekakuan campuran tersebut sampai pada batas optimum dan kemudian seiring dengan bertambahnya kadar aspal akan menurunkan nilai kekakuan campuran.

