

Studi Pengaruh Temperatur terhadap Modulus Kekakuan Campuran Menggunakan Aspal Berpolimer BituBale

RICKSAN RACHDIAMAN FAROZ, HERMAN,

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email: ricksfaroz@yahoo.com

ABSTRAK

Jalan merupakan infrastruktur dasar yang berperan sangat penting dalam menunjang kehidupan masyarakat sehari-hari. Untuk memenuhi peranan itu maka dikembangkan campuran beton aspal menggunakan aspal berpolimer BituBale, diharapkan campuran ini dapat mengurangi kerusakan yang diakibatkan oleh perubahan cuaca yang tidak menentu. Untuk menjaga ketahanan campuran beton aspal agar tercapai sesuai dengan kebutuhan selain dengan pemilihan jenis material adalah dengan memperhatikan tegangan dan regangan yang menunjukkan kekakuan dari suatu campuran. Dari hasil penelitian didapat persamaan modulus kekakuan campuran terhadap temperatur yaitu $S_{mix} = 2,984T^2 - 300,4T + 7433$ untuk metode Shell, dan $S_{mix} = 6,385T^2 - 667,4T + 17273$ untuk metode Nottingham. Nilai korelasi yang didapat antara modulus kekakuan campuran terhadap temperatur sangat baik sebesar 98,2% untuk metode Shell, dan 99,5% untuk metode Nottingham.

Kata kunci: *aspal polimare bitubale, modulus kekakuan campuran, temperatur*

ABSTRACT

Road is a basic infrastructure that have a very important role in supporting the daily life of society. To fulfill that role, a mixture of asphalt concrete using BituBale polymerized asphalt was developed, it is expected that this mixture can reduce the damage caused by unpredictable weather changes. To maintain the durability of the asphalt concrete mix in order to be fit as required in addition with the selection of the material is with consideration to the stress and strain that shows the stiffness of a mixture. From the research it was obtained that the equation of mixed stiffness modulus to temperature is $S_{mix} = 2,984T^2 - 300,4T + 7433$ for Shell method, and $S_{mix} = 6,385T^2 - 667,4T + 17273$ for Nottingham method. The value of the correlation obtained between the stiffness modulus of the mixture with the temperature was 98.2% for the Shell method, and 99.5% for the Nottingham method which was excellent.

Keywords: *polymerized asphalt bitubale, stiffness modulus mix, temperature*

1. PENDAHULUAN

Umumnya perkerasan jalan di Indonesia menggunakan campuran beton aspal. Campuran beton aspal terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal. Campuran beton aspal sering digunakan karena memiliki nilai stabilitas dan fleksibilitas yang baik. Akan tetapi, lapisan ini memiliki kelemahan terhadap cuaca tropis dan beban lalu lintas yang terlalu tinggi akan menyebabkan kerusakan pada lapisan perkerasan seperti terjadinya alur jejak roda, naiknya aspal ke permukaan dan retakan.

Untuk menjaga ketahanan campuran beton aspal agar tercapai sesuai dengan kebutuhan adalah dengan memperhatikan tegangan dan regangan yang menunjukkan kekakuan dari suatu bahan. Selain itu, kualitas bahan perlu diperhatikan untuk mendukung suatu campuran agar sifat perkerasan dapat terpenuhi seperti kekakuan dan fleksibilitasnya. Salah satu bahan penyusun yang digunakan untuk perkerasan jalan adalah aspal. Aspal mempunyai fungsi sebagai bahan pengikat dan pengisi. Aspal memiliki sifat *visco-elastis*, yakni tergantung terhadap temperatur dan waktu pembebanan, sehingga kekakuan campuran beton aspal akan bervariasi sesuai dengan kondisi temperatur dan waktu pembebanan.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian menggunakan perhitungan secara analitis tentang pengaruh temperatur terhadap modulus kekakuan campuran menggunakan aspal berpolimer BituBale dengan menggunakan cara Shell dan Nottingham.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk memikul dan meyebarakan beban dari setiap jenis beban kendaraan yang melintas ke lapisan dibawahnya hingga tanah dasar. Perkerasan dengan mempergunakan aspal sebagai bahan pengikat di sebut sebagai perkerasan lentur (*flexibel pavement*).

Lapisan perkerasan jalan berfungsi untuk menerima dan meyebarakan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan pada konstruksi jalan itu sendiri. Dengan demikian lapisan perkerasan ini akan memberikan kenyamanan kepada pengguna jalan selama masa pelayanan jalan tersebut.

2.2 Agregat

Agregat adalah material berbutir yang keras dan kompak, yang merupakan campuran dari pasir, kerikil, batu pecah, atau material lain yang berasal dari bahan mineral alami atau buatan. Agregat digunakan sebagai bahan campuran beraspal, membentuk suatu kombinasi ikatan diantara material pembentuk campuran beraspal. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan, mempunyai peranan yang sangat penting dalam perkerasan jalan, karena jumlah yang dibutuhkan dalam campuran perkerasan umumnya berkisar antara 90%-95% dari berat total campuran, atau 75%-85% dari volume campuran yang sebagian besar ditentukan oleh karakteristik agregat yang digunakan. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran dengan material lain (Sukirman, 2012). Sifat karakteristik agregat ditinjau dalam perencanaan perkerasan antara lain:

1. Ukuran dan Gradasi.
2. Kebersihan agregat (*cleanliness*).
3. kekuatan atau kekerasan agregat.
4. Bentuk agregat.
5. Tekstur Permukaan Agregat.
6. Daya Lekat Aspal Terhadap Agregat (*affinity for asphalt*).
7. Berat jenis.
8. Penyerapan.

2.3 Aspal Polimer Bitubale

Aspal polimer bitubale adalah aspal polimer modifikasi antara polimer alam dengan aspal. Polimer yang digunakan pada BituBale yaitu jenis polimer SBS (*Styrene Butadine Sterene*). SBS (*Styrene Butadine Sterene*) merupakan jenis polimer elastomer yang biasa digunakan sebagai pencampur aspal keras. Pada dasarnya aspal polimer BituBale menggunakan aspal atau bitumen produksi *Shell*, yang dimodifikasi dengan aspal polimer jenis SBS (*Styrene Butadine Sterene*). Penambahan polimer jenis ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat rheologiaspal, antara lain penetrasi, kekentalan, titik lembek dan elastisitas aspal keras. Campuran beraspal yang dibuat dengan aspal polimer elastomer SBS (*Styrene Butadine Sterene*) akan memiliki tingkat elastisitas yang lebih tinggi dari campuran beraspal yang dibuat dengan aspal padat. Aspal polimer BituBale ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya:

1. Memiliki faktor kehilangan materialnya (*loose factor*) hingga 0% dibandingkan aspal konvensional.
2. Lebih ramah lingkungan karena emisi CO_2 karena hasil pembakaran hingga 52%.
3. Mempunyai suhu titik lembek (*softening point*) yang tinggi sehingga mempertinggi kinerja suatu perkerasan jalan menjadi lebih baik.
4. Memiliki sifat kekerasan/kekesatan (*gripp*) dan ketahanan terhadap deformasi alur (*rutting*) yang lebih baik sehingga cocok pada jalan yang beriklim ekstrim dan memiliki volume kendaraan yang tinggi.

2.4 Campuran Beton Aspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal secara homogen, dengan atau tanpa bahan tambahan (Sukirman, 2012). Salah satu jenis beton aspal yang saat ini ada di Indonesia adalah lapisan aspal beton (laston). Lapisan Aspal Beton (Laston) adalah beton aspal yang bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Lapis beton aspal terdiri dari lapis aus (AC-WC), lapis pengikat (AC-BC) dan lapis fondasi (AC-Base). Perlu direncanakan pencampuran beton aspal yang bertujuan untuk:

Perencanaan campuran beton aspal bertujuan untuk:

1. Komposisi agregat untuk mencapai gradasi sesuai yang disyaratkan.
2. Kadar aspal optimum agar memenuhi spesifikasi.
3. Berat isi untuk *quality control* pada saat pelaksanaan.

Sebelum melakukan pembuatan benda uji perlu dilakukan penentuan kadar aspal yang akan digunakan. Kadar aspal acuan dalam campuran dapat ditentukan dengan **Persamaan 1**.

$$KAA = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%filler) + K \quad \dots (1)$$

dimana:

- KAA = kadar aspal acuan, persen terhadap berat campuran,
 CA = persen agregat tertahan saringan No. 4,
 FA = persen agregat lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200,
 $Filler$ = persen agregat minimal 75% lolos No. 200,
 K = konstanta (0,5-1,0 untuk lapisan aspal beton).

2.5 Pengujian Marshall

Pengujian perendaman Marshall merupakan pengujian untuk memeriksa kerentanan campuran terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (*stabilitas*) dan kelelahan plastisitas (*flow*) dari campuran aspal. Prosedur pengujian Marshall di Indonesia disesuaikan dengan SNI 06-2489-1991. Hasil

pengujian dengan alat Marshall (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010), akan diperoleh parameter sebagai berikut:

1. Quosien Marshall, adalah rasio antara nilai stabilitas dan kelelahan.
2. Berat volume benda uji.
3. Berat jenis *bulk* aspal padat (G_{mb}).
4. Berat jenis efektif agregat campuran (G_{se}).
5. Berat jenis *bulk* agregat campuran (G_{sb}).
6. Berat jenis maksimum aspal yang belum dipadatkan (G_{mm}).
7. Volume rongga dalam campuran benda uji (VIM).

2.6 Modulus Kekakuan

Modulus kekakuan adalah salah satu parameter yang baik digunakan untuk perencanaan maupun untuk mengevaluasi kinerja campuran beraspal. Campuran beraspal merupakan material yang tidak bersifat elastis sempurna maka pemakaian istilah modulus elastisitas (E) tidak cocok digunakan dan sebagai gantinya digunakan istilah modulus kekakuan campuran (*Stiffness modulus*, S_{mix}).

2.7 Modulus Kekakuan Aspal

Aspal adalah material yang bersifat visko-elastis dimana sifat material ini akan berubah dari viskos ke elastis tergantung pada temperatur dan waktu pembebanan. Pada temperatur tinggi dan waktu pembebanan yang lama aspal akan berperilaku sebagai *viscous-liquid*, sedangkan bila pada temperatur yang rendah dan waktu pembebanannya singkat maka aspal akan bersifat elastis-padat. Kondisi yang umum terjadi pada aspal merupakan peralihan dari kedua sifat tersebut, yaitu aspal akan bersifat *viscous-elastic*. Modulus kekakuan aspal dapat diperkirakan dengan menggunakan nomogram Van der Poel (Hunter et al., 2015). Input parameter yang digunakan untuk memperkirakan modulus kekakuan aspal dengan menggunakan nomogram ini adalah temperatur (T), titik lembek (SP_r) dari *ring and ball test*, waktu pembebanan (t), dan indeks penetrasi (PI_r) yang merupakan ukuran dari temperatur.

2.8 Modulus Kekakuan Campuran Beton Aspal

Metode untuk menetapkan kekakuan (*stiffness*) campuran aspal yang terbaik adalah dengan menggunakan tes laboratorium yang sesuai, tetapi jika hal ini tidak memungkinkan dapat menggunakan beberapa pendekatan seperti menggunakan nomogram ataupun formula.

3. METODE PENELITIAN

Penyusunan rencana kerja penelitian dilakukan terlebih dahulu, hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pelaksanaan penelitian. Langkah yang dilakukan mengidentifikasi masalah, tujuan, studi pustaka, pengumpulan data sekunder, serta persiapan alat dan bahan. Data sekunder meliputi pengujian aspal berpolimer BituBale. Selanjutnya mempersiapkan bahan yang digunakan berupa agregat dan aspal berpolimer BituBale. Penentuan nilai Kadar Aspal Acuan (KAA), pembuatan benda uji menggunakan KAA dimana dibuat masing-masing 3 buah benda uji, kemudian dilakukan Pengujian Marshall untuk mengetahui kadar aspal yang memenuhi spesifikasi parameter Marshall untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Pembuatan benda uji dengan nilai kadar aspal yang memenuhi rentang KAO Marshall. Setelah didapat KAO Marshall maka dibuat 9 buah benda uji kepadatan mutlak untuk mendapatkan $VIM_{refusal}$. Langkah terakhir yaitu melakukan analisis dengan menghitung modulus kekakuan campuran beton aspal.

4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat yang dilakukan di Laboratorium Material Perkerasan Jalan Itenas yaitu pengujian berat jenis agregat kasar, agregat halus, penyerapan dan pengujian abrasi. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Ukuran Ayakan				
	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8
Berat Jenis (<i>bulk</i>)	2,563	2,567	2,575	2,552	2,532
Berat Jenis Permukaan Jenuh (<i>SSD</i>)	2,637	2,632	2,644	2,604	2,584
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,767	2,744	2,766	2,693	2,670
Penyerapan (<i>Absorption</i>) (%)	2,884	2,505	2,673	2,056	2,056
Berat Jenis Efektif	2,665	2,655	2,670	2,623	2,601

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus dan Filler

Jenis Pengujian	Ukuran Ayakan				
	No.16	No. 30	No. 50	No.100	No. 200
Berat Jenis (<i>bulk</i>)	2,525	2,482	2,439	2,489	2,567
Berat Jenis Permukaan Jenuh (<i>SSD</i>)	2,579	2,543	2,511	2,546	2,610
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,668	2,644	2,628	2,639	2,682
Penyerapan (<i>Absorption</i>) (%)	2,124	2,480	2,944	2,291	1,667
Berat Jenis Efektif	2,597	2,563	2,534	2,564	2,624
Berat Jenis <i>Filler</i>	2,577				

Hasil pemeriksaan keausan agregat dengan mesin los angeles dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Dengan Mesin Los Angeles

Ukuran Saringan	Berat [gr]
19 mm	
12,5 mm	2500
9,5 mm	2500
4,75 mm	
2,36 mm	
Jumlah Berat	5000
Berat tertahan saringan No 12 sesudah pengujian	4289,9
Abrasi (%)	14,21

4.2 Pengujian Berat Jenis Agregat Campuran

Perhitungan nilai persentase gradasi target dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Hasil perhitungan Berat jenis Bulk dan berat jenis efektif campuran:

Berat Jenis Bulk Campuran = 2,537

Berat Jenis Efektif Campuran = 2,610

Tabel 4. Persentase Gradasi Target

Nomor/Bukaan Ayakan	Ukuran Ayakan [mm]	Gradasi Rencana	% Tertahan	Persentase Masing–Masing Ayakan
	25	100		
3/4 inci	19	95	5	P ₁
1/2 inci	12,5	82,5	12,5	P ₂
3/8 inci	9,5	74	8,5	P ₃
No. 4	4,75	55	19	P ₄
No. 8	2,36	39,5	15,5	P ₅
No. 16	1,18	28	11,5	P ₆
No. 30	0,6	20	8	P ₇
No. 50	0,3	13,5	6,5	P ₈
No. 100	0,15	9	4,5	P ₉
No. 200	0,075	6	3	P ₁₀
<i>Filler</i>			6	P ₁₁

4.3 Pemeriksaan Aspal

Hasil pemeriksaan aspal didapat dari beberapa pemeriksaan antara lain pemeriksaan penetrasi, titik lembek, daktilitas dan berat jenis. Hasil pemeriksaan aspal dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Pemeriksaan Aspal

Pengujian	Satuan	Aspal Berpolimer BituBale
Penetrasi	0,1 mm	43,87
Titik Lembek	°C	58,67
Daktilitas	cm	>150
Berat jenis	-	1,02
Viskositas	Cst	1,318
Titik Nyala dan Titik Bakar	°C	336
Kehilangan berat	% Berat	0,142
Penetrasi setelah Kehilangan Berat	% asli	75,379
Titik lembek setelah TFOT	°C	59,67
Indeks Penetrasi	-	0,443

(Sumber: Adithya, 2016)

4.4 Perhitungan Kadar Aspal Acuan

Pembuatan benda uji untuk campuran beton aspal Laston (AC-BC) dimulai dari kadar aspal acuan. Contoh perhitungan Kadar Aspal Acuan (*KAA*) seperti pada **Persamaan 1**.

$$\begin{aligned}
 KAA &= 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%Filler) + K \\
 &= 0,035(45\%) + 0,045(49\%) + 0,18(6\%) + 1 \\
 &= 5,86 \% \approx 6\%
 \end{aligned}$$

Benda uji yang dibuat untuk menentukan Kadar aspal Optimum adalah benda uji pada kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5%. Masing-masing kadar aspal dibuat 3 buah benda uji.

4.5 Hasil Pengujian Perendaman Marshall

Pengujian perendaman Marshall dilakukan dengan waktu 30 menit pada suhu 60°C. Hasil pengujian Marshall dapat dilihat pada **Tabel 6**.

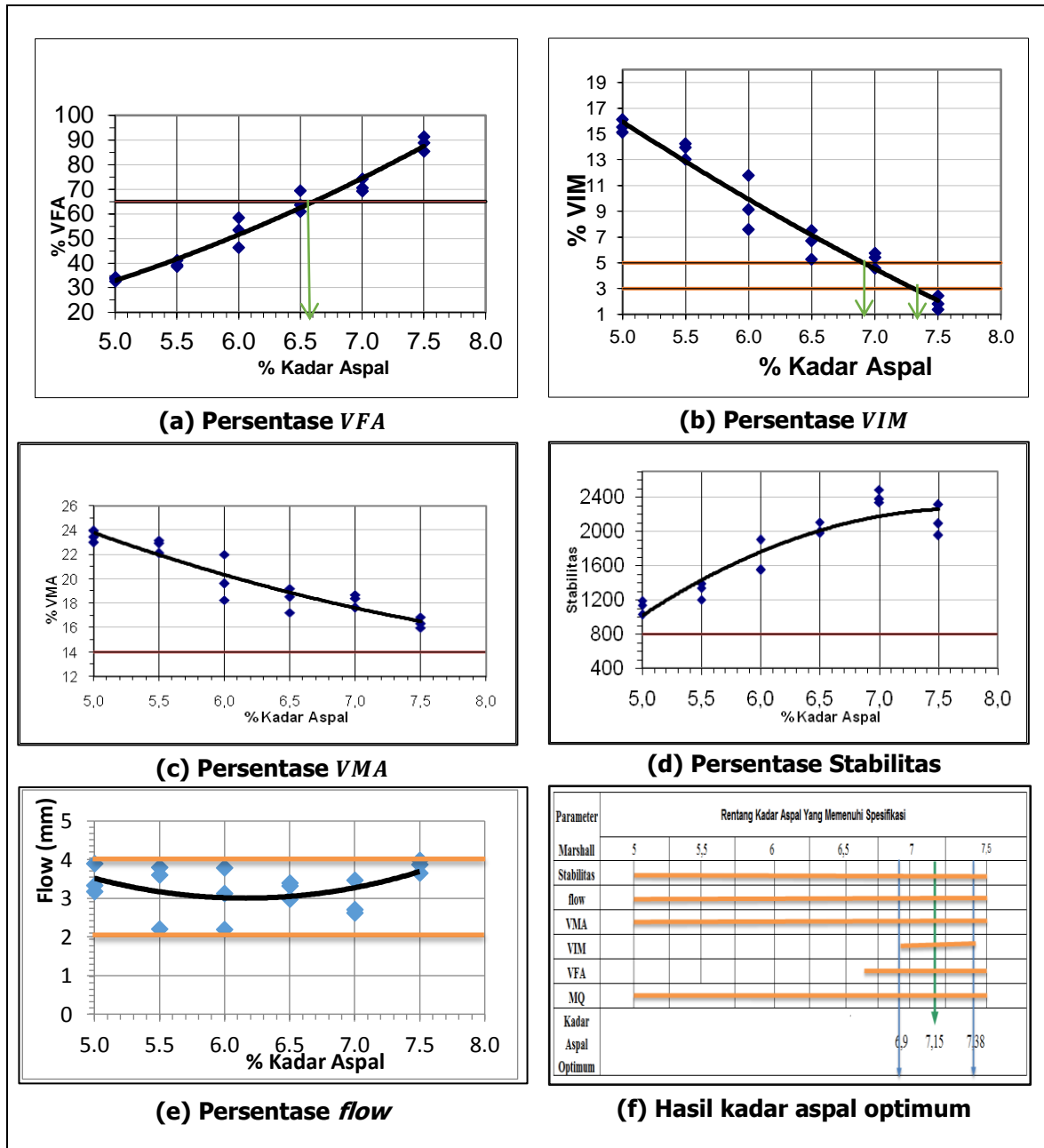
Tabel 6. Hasil Pengujian Marshall

Kadar Aspal [%]	Nilai Stabilitas [Kg]	Flow [mm]	VMA [%]	VIM [%]	VFA [%]
5	1.051,10	3,90	23,002	15,076	34,459
	1.066,46	3,18	23,960	16,133	32,668
	1.053,60	3,34	23,433	15,551	33,635
5,5	1.081,40	3,80	22,128	13,033	41,100
	1.086,20	2,20	22,941	13,942	39,230
	1.079,00	3,60	23,206	14,237	38,649
6	1.090,40	3,79	21,998	11,797	46,376
	1.144,00	2,19	19,647	9,138	53,491
	1.182,43	3,12	18,283	7,595	58,457
6,5	1.240,21	2,98	17,260	5,267	69,482
	1.180,03	3,32	19,223	7,515	60,907
	1.183,52	3,40	18,523	6,714	63,754
7	1.240,28	2,71	18,708	5,763	69,197
	1.219,00	2,62	17,669	4,559	74,201
	1.231,20	3,47	18,418	5,427	70,536
7,5	1.278,06	3,99	15,984	1,391	91,299
	1.241,46	3,65	16,883	2,445	85,517
	1.267,35	3,87	16,338	1,806	88,947

Data dari **Tabel 6** dibuat grafik hubungan antara parameter Marshall dan kadar aspal. Masing-masing dari parameter Marshall digambarkan batasan kadar aspal yang memenuhi batasan spesifikasi campuran. Kadar aspal optimum adalah kadar aspal tengah dari rentang yang memenuhi spesifikasi parameter Marshall seperti terlihat pada **Gambar 1**.

Kadar aspal seperti pada **Gambar 1** yang memenuhi spesifikasi Laston (AC-BC) didapat pada rentang 6,9% sampai 7,38% sehingga kadar aspal optimumnya didapat 7,15 %.

Kadar Aspal Optimum (*KAO*) dengan uji Marshall diperoleh 7,15%. Setelah didapat nilai *KAO* campuran beton aspal maka dilakukan pembuatan benda uji kepadatan mutlak pada Kadar Aspal Optimum dengan Rentang 6,65%, 7,15%, dan 7,65%, menggunakan alat *Percentage Refusal Density (PRD)* untuk mendapatkan $VIM_{refusal}$. Untuk hasil pengujian metode *PRD* dapat dilihat pada **Tabel 7**.



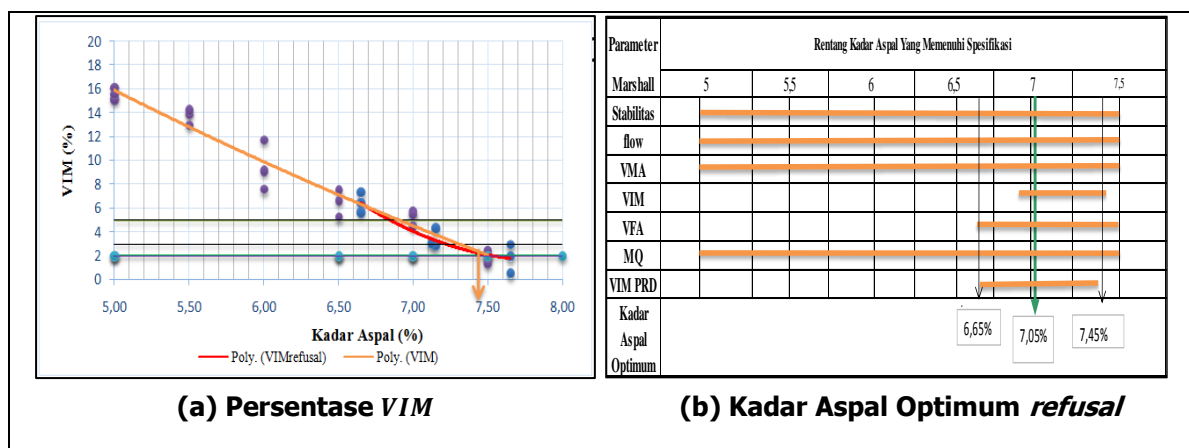
Gambar 1. Grafik hubungan parameter Marshall dan kadar aspal

Gambar 1a menunjukkan hasil % kadar aspal terhadap nilai % VFA sebesar 6,6%, **Gambar 1b** menunjukkan hasil % kadar aspal terhadap nilai % VIM sebesar 6,85% dan 7,3%, **Gambar 1c** menunjukkan hasil % kadar aspal terhadap nilai % VMA yang memenuhi syarat diatas 14%, **Gambar 1d** menunjukkan nilai stabilitas yang memenuhi syarat diatas persyaratan minimal 800 kg, **Gambar 1e** menunjukkan hasil % kadar aspal terhadap nilai flow yang memenuhi syarat di antara 2 mm dan 4 mm. **Gambar 1f** menunjukkan hasil rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi, dari seluruh pengujian ditetapkan nilai Kadar Aspal Optimum sebesar 7,15%.

Tabel 7. Tabel Hasil Pengujian PRD

Kadar Aspal [%]	VMA [%]	VIM [%]	VFA [%]
6,65	17,400	7,287	58,119
	15,940	5,648	64,565
	16,598	6,387	61,520
7,15	15,738	4,224	73,158
	14,541	2,864	80,305
	14,610	2,974	79,644
7,65	15,674	2,942	81,233
	14,805	1,941	86,887
	13,568	0,517	96,189

Data dari **Tabel 7** dibuat grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai $VIM_{refusal}$. Perbandingan nilai *Void in Mix* (VIM) dari pengujian pemadatan menggunakan alat *Percentage Refusal Density* (PRD) dan alat Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum *refusal* ($KA0_{refusal}$) dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Penentuan Kadar Aspal Optimum_{refusal}

Gambar 2a menunjukkan batasan untuk nilai $VIM_{refusal}$ minimum 2%, **Gambar 2b** menunjukkan hasil Kadar Aspal Optimum *refusal* ($KA0_{refusal}$) yang memenuhi persyaratan berada pada rentang 6,65% dan 7,45% sehingga ($KA0_{refusal}$) diperoleh sebesar 7,05%.

4.6 Analisis Modulus Kekakuan Campuran Beton Aspal

Data hasil pengujian aspal yang digunakan pada perhitungan modulus kekakuan tidak semua hasil pengujian aspal yang digunakan, hanya nilai penetrasi sebesar 43,87 dmm. Perhitungan nilai modulus kekakuan aspal dengan metode Shell dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Perhitungan Modulus Kekakuan Aspal Metode Shell

Temp. Benda Uji	t	P_i	P_r	SP_r	PI	PI_r	S_{bit} Persamaan Ullidtz	S_{bit} Modulus kekakuan Metode Nomogram Van Der Poel	
[°C]	[detik]	[dmm]	[dmm]	[°C]			[MPa]	[Pa]	[MPa]
20	0,10	43,87	28,52	60	0,443	-0,2112	34,40	30.000.000	30
25	0,10	43,87	28,52	60	0,443	-0,2112	17,66	13.000.000	13
30	0,10	43,87	28,52	60	0,443	-0,2112	8,18	10.000.000	10
35	0,10	43,87	28,52	60	0,443	-0,2112	3,29	4.000.000	4
40	0,10	43,87	28,52	60	0,443	-0,2112	1,08	1.000.000	1
45	0,10	43,87	28,52	60	0,443	-0,2112	0,26	800.000	0,8
50	0,10	43,87	28,52	60	0,443	-0,2112	0,03	400.000	0,4
55	0,10	43,87	28,52	60	0,443	-0,2112	0,00	200.000	0,2
60	0,10	43,87	28,52	60	0,443	-0,2112	0,00	100.000	0,1

4.7 Perhitungan Modulus Kekakuan Campuran Metode Shell dan Nottingham

Data-data yang digunakan pada perhitungan modulus kekakuan campuran beton aspal metode Shell dapat dilihat pada **Tabel 9**. Untuk mendapatkan nilai modulus kekakuan campuran tersebut terlebih dahulu menghitung nilai VFA dan VMA dari parameter Marshall yang telah didapatkan. Nilai modulus kekakuan campuran beton aspal metode shell dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 9. Perhitungan VFA dan VMA Modulus Kekakuan Campuran Metode Shell

% Aspal Terhadap Berat Campuran	Volume Rongga Udara	Berat Jenis Aspal	Berat Isi Benda Uji	Berat Jenis Efektif Agregat	% Aspal terhadap Volume (VFA)	% Agregat terhadap Volume (VMA)
[%]	[%]		[t/m ³]		[%]	[%]
b	V_v	G_b	g	G_{sb}	$V_b = b * g / G_b$	$V_a = 100 - V_b - V_v$
7,05	3,86	1,02	2,428	2,610	16,78	79,36

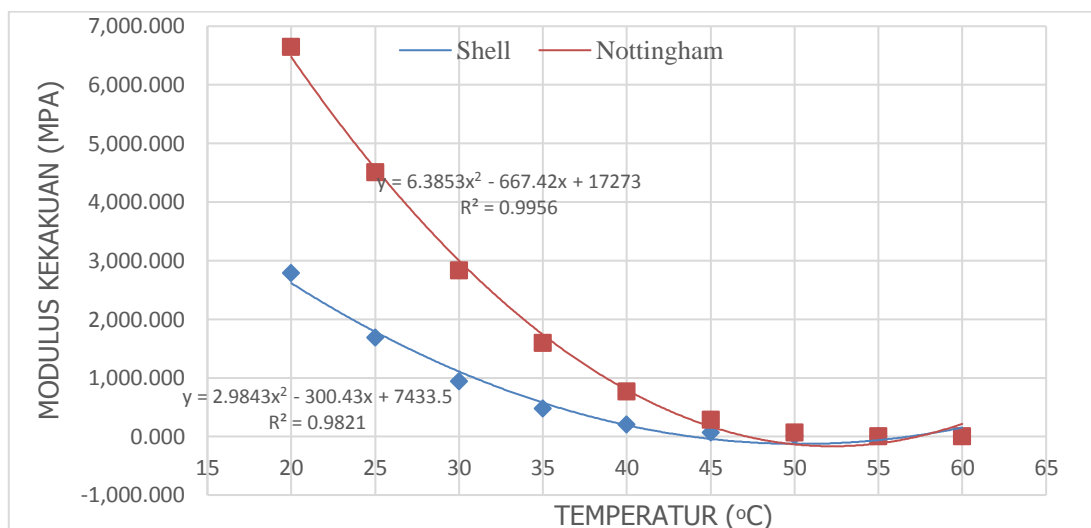
Tabel 10. Perhitungan Modulus Kekakuan Campuran Beton Aspal Metode Shell

Temp. Benda Uji	% Void terhadap Volume (V_v)	% Aspal terhadap Volume (V_b)	% Agregat terhadap Volume (V_a)	S_x	S_y	S_z	S_w	S_{mix}
[°C]	[%]	[%]	[%]					[MPa]
20	3,860	16,782	79,362	0,754	9,795	10,532	0,560	2.792,87
25	3,860	16,782	79,362	0,754	9,795	10,532	0,560	1.689,63
30	3,860	16,782	79,362	0,754	9,795	10,532	0,560	946,01
35	3,860	16,782	79,362	0,754	9,795	10,532	0,560	476,50
40	3,860	16,782	79,362	0,754	9,795	10,532	0,560	205,93
45	3,860	16,782	79,362	0,754	9,795	10,532	0,560	69,88
50	3,860	16,782	79,362	0,754	9,795	10,532	0,560	15,27
55	3,860	16,782	79,362	0,754	9,795	10,532	0,560	1,14
60	3,860	16,782	79,362	0,754	9,795	10,532	0,560	0,00

Tabel 11. Perhitungan Modulus Kekakuan Campuran Beton Aspal Metode Nottingham

Temp. Benda Uji [°C]	Rumus Nottingham				
	S_{bit}	Persamaan Ullidtz	n	VMA	S_{mix}
[Pa]	[Pa]	[MPa]			[MPa]
20	34.396.591,86	34,40	2,544	15,43	6.652,70
25	17.660.766,44	17,66	2,785	15,43	4.514,68
30	8.182.398,18	8,18	3,062	15,43	2.831,33
35	3.294.739,72	3,29	3,390	15,43	1.593,09
40	1.082.780,75	1,08	3,791	15,43	764,95
45	258.202,83	0,26	4,308	15,43	285,10
50	34.334,19	0,03	5,035	15,43	66,49
55	1.104,57	0,00	6,274	15,43	4,84
60	0,00	0,00	14,308	15,43	0,00

Nilai modulus kekakuan campuran menggunakan metode Nottingham dapat dilihat pada **Tabel 11**. Untuk mencari nilai modulus kekakuan campuran, terlebih dahulu dengan melakukan perhitungan modulus kekakuan aspalnya.



Gambar 3. Nilai Modulus Kekakuan Campuran yang Dipengaruhi oleh Temperatur

Dalam penelitian ini digunakan simulasi temperatur mulai dari 20 °C sampai 60 °C, hal ini untuk menyesuaikan keadaan suhu di Indonesia berdasarkan pada data temperatur perkerasan rata-rata tahunan untuk setiap daerah atau kota, disamping itu juga untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perbedaan temperatur terhadap modulus kekakuan campuran beraspal.

Dari hasil penelitian pada **Gambar 3** didapat hubungan bahwa semakin tinggi temperatur perkerasan akan berakibat semakin rendahnya modulus kekakuan campuran beraspal. Disini terlihat bahwa perbedaan temperatur perkerasan sangat berpengaruh terhadap nilai modulus kekakuan aspal, hal ini terjadi karena sifat aspal sebagai bahan *thermoplastic* yang konsistensinya (viskositas) akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur. Semakin tinggi temperatur maka viskositasnya akan semakin menurun sehingga modulus kekakuan aspal semakin menurun.

Gambar 3 menunjukkan model pengaruh temperatur terhadap modulus kekakuan campuran beraspal untuk metode Shell adalah $S_{mix} = 2,984(T)^2 - 300,4(T) + 7433$ dan untuk metode Nottingham adalah $S_{mix} = 6,385(T)^2 - 667,4(T) + 17273$. Kedua metode memiliki tingkat korelasi yang cukup baik yaitu dengan $R^2 = 98,2\%$ untuk metode Shell dan $R^2 = 99,5\%$ untuk metode Nottingham. Pengaruh temperatur terhadap metode Nottingham lebih besar jika dibandingkan dengan metode Shell akan tetapi besarnya pengaruh temperatur untuk kedua metode tidak jauh berbeda. Perbedaan besarnya pengaruh temperatur terhadap kedua metode dikarenakan perhitungan modulus kekakuan campuran dengan metode Shell dipengaruhi oleh nilai VMA , VIM , VFA , dan nilai $SP_r - T$, sedangkan perhitungan modulus kekakuan campuran dengan metode Nottingham data yang digunakan hanya nilai VMA sehingga nilai modulus kekakuan campuran beton aspal metode Nottingham lebih besar dibandingkan metode Shell.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dari data pengujian di laboratorium, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar dan agregat halus memenuhi persyaratan, dimana berat jenis yang disyaratkan minimum 2,5. Nilai penyerapan untuk agregat kasar maupun halus memenuhi persyaratan, dimana penyerapan yang disyaratkan maksimum sebesar 3 % sedangkan hasil pengujian dibawah 3%.
2. Nilai KAO pada pengujian Marshall yang mengacu pada spesifikasi Umum Perkerasab Aspal Revisi 3 diperoleh 7,15%.
3. Nilai $KAO_{refusal}$ pada pengujian PRD diperoleh 7,05%.
4. Hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan dua metode modulus kekakuan menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur yang diterima maka modulus kekakuan campuran semakin rendah. Nilai penurunan modulus kekakuan campuran beton aspal pada temperatur 20°C sampai 25°C sebesar 32,14% - 39,50%, 25°C sampai 30°C sebesar 37,29% - 44,01%, 30°C sampai 35°C sebesar 43,73% - 49,63%, 35°C sampai 40°C sebesar 51,98% - 56,78%, 40°C sampai 45°C sebesar 62,73% - 66,07%, 45°C sampai 50°C sebesar 76,68% - 78,15%, 50°C sampai 55 °C sebesar 92,50% - 92,72%, dan 55°C sampai 60°C sebesar 100%.
5. Model pengaruh temperatur terhadap modulus kekakuan campuran beraspal untuk metode Shell adalah $S_{mix} = 2,984(T)^2 - 300,4(T) + 7433$ dan untuk metode Nottingham adalah $S_{mix} = 6,385(T)^2 - 667,4(T) + 17273$. Kedua metode memiliki tingkat korelasi yang cukup baik yaitu dengan $R^2 = 98,2\%$ untuk metode Shell dan $R^2 = 99,5\%$ untuk metode Nottingham.

DAFTAR RUJUKAN

- Adithya, F. (2016). *Studi Perbandingan Modulus Kekakuan Aspal Pada Dua Jenis Aspal Berpolimer*. Tugas Akhir-Tidak Dipublikasikan. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2010). *Spesifikasi Umum Perkerasan Aspal Revisi 3*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Hunter, R. N., Self, A., & Read, J. (2015). *The Shell Bitumen Handbook* (6th edition). London, Westminster, United Kingdom: ICE Publishing.
- Sukirman, S. (2012). *Beton Aspal Campuran Panas* (edisi kedua). Bandung, Jawa Barat, Indonesia: Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional.