

Perbaikan Sifat Reologi Visco-Elastic Aspal dengan Penambahan Asbuton Murni Menggunakan Parameter Complex Shear Modulus

Improved on Bitumen's Visco-Elastic Rheology Characteristic With Pure Asbuton Addition Using Complex Shear Modulus Parameter

Eva Wahyu Indriyati^{*1}, Bambang Sugeng Subagio^{*2}, Harmein Rahman^{*2}

[*1e_wahyuindriyati@yahoo.co.id](mailto:e_wahyuindriyati@yahoo.co.id)

^{*1} Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Mayjend. Sungkono Km. 5 Blater Purbalingga

^{*2} Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10 Bandung

Abstrak— Meningkatnya harga minyak mentah secara langsung akan meningkatkan harga aspal minyak. Indonesia saat ini masih melakukan impor aspal untuk memenuhi kebutuhan aspal bagi pembangunan dan pemeliharaan jalan. Salah satu isu yang berkembang adalah meningkatkan sifat reologi dari bitumen dengan menambahkan bitumen yang lebih keras atau bahan kimia lain untuk mengurangi ketergantungan terhadap aspal minyak. Indonesia memiliki sumber aspal alam (di Pulau Buton, Sulawesi), dengan deposit yang sangat besar dan potensial yang dapat dijadikan sebagai bahan untuk meningkatkan sifat reologi dari aspal minyak Pen 60/70. Untuk dapat memperoleh gambaran dari perbaikan sifat reologi akibat penambahan Asbuton dilakukan pengujian pada campuran Asbuton murni dan aspal Pen 60/70 dengan 19 variasi kadar Asbuton. Pengujian yang dilakukan mencakup: pengujian sifat reologi dasar dan pengujian sifat reologi mekanistik menggunakan *Dynamic Shear Rheometer*. Dari penelitian ini, kesimpulan dari sisi sifat reologi dasar adalah penambahan Asbuton akan meningkatkan kekerasan bitumen. Kesimpulan dari sisi sifat reologi mekanistik adalah bahwa campuran bitumen Asbuton dan aspal pen 60/70 mengalami perbaikan sifat reologi mekanistik, seperti peningkatan *Performance Grade (PG)* dan *Complex Shear Modulus (G*)* seiring dengan penambahan kadar Asbuton. Selanjutnya dari analisis terhadap *Black Diagram* dan *Master Curve*, disimpulkan bahwa penambahan Asbuton akan menurunkan nilai *phase angle (δ)* tetapi akan meningkatkan kepekaan terhadap suhu dan frekuensi pembebanan.

Kata kunci— Asbuton, *Complex Shear Modulus (G*)*, *Black Diagram*, *Master Curve*

Abstract— The increasing demand of crude oil will increase the price of petroleum asphalt. Indonesia has imported asphalt to meet the need for the annually road construction and maintenance. One solution to improving the rheological properties of bitumen is by adding the harder bitumen or other chemical compound to reduce dependence to petroleum asphalt. In Indonesia there is a source of natural asphalt in Buton Island, Sulawesi with huge amount of deposit that potentially could improve the rheological properties of Pen 60/70 Petroleum Asphalt. In order to obtain a better understanding on the contribution of Asbuton to the improvement of performance on rheological properties, this research used 19 variations of Asbuton and pen 60/70 petroleum bitumen. This variation is then subjected to the basic rheology test and the mechanistic test using *Dynamic Shear Rheometer*. The conclusion of basic rheological performance is obtained that mixture (Asbuton and 60/70 petroleum bitumen) will increase hardness of bitumen. Conclusion on mechanistic rheological performance is that mixture (Asbuton and 60/70 petrol bitumen) will increase *Performance Grade (PG)* and *Complex Shear Modulus (G*)*. The results from the analysis of *Master Curve* and *Black Diagram*, it is shown that the increasing proportion of bitumen Asbuton will decrease the *phase angle (δ)* but its temperature susceptibility is worse.

Keyword— Asbuton, *Complex Shear Modulus (G*)*, *Black Diagram*, *Master Curve*

PENDAHULUAN

Asbuton (Aspal Batu Buton) adalah salah satu hasil alam yang dimiliki oleh Indonesia. Deposit Asbuton tersebar di beberapa daerah kecamatan di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Secara garis besar terdapat dua

jenis aspal alam di pulau Buton yaitu aspal batu (rock asphalt) dan aspal lunak. Dinas Pertambangan Propinsi Sulawesi Tenggara dalam Rahman (2010) menyatakan cadangan Asbuton diperkirakan sekitar 670 juta ton dalam bentuk asal (*native*) atau dalam bentuk bitumen sebesar 163.900.000 ton dengan perkiraan kandungan

bitumen berkisar antara 15% - 35% dan tersebar di 5 daerah yaitu Waesiu, Kabungka, Winto, Waniti dan Lawele (Rahman, 2010). Jumlah ini masih belum mempertimbangkan potensi cadangan Asbuton yang belum ter gali sampai saat ini, yang jumlahnya diperkirakan masih sangat banyak.

Menurut Hermadi & Sjahdanulirwan (2008), dibanding Asbuton Kabungka, Asbuton Lawele memiliki kadar bitumen, kadar minyak ringan dan nilai penetrasi bitumen yang relatif lebih tinggi. Asbuton Lawele memiliki kadar bitumen sekitar 30%, kadar minyak ringan sekitar 7%, dan nilai penetrasi bitumen sekitar 180 dmm.

Adanya deposit Asbuton merupakan peluang dan sekaligus tantangan bagi para peneliti, praktisi, dan semua pihak yang terkait dengan perkerasan jalan. Sebagai peluang, Asbuton merupakan aspal alam dengan deposit terbesar dibanding deposit aspal alam lainnya di dunia, dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengikat pada perkerasan jalan menggantikan aspal minyak. Sebagai tantangan, penggunaan Asbuton sebagai bahan pengikat pada perkerasan jalan tidak sederhana atau semudah penggunaan aspal minyak, tapi secara prinsip para peneliti sudah menunjukkan bahwa Asbuton dapat digunakan pada perkerasan jalan meski masih terdapat beberapa kendala pada pelaksanaannya.

Kinerja campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh sifat reologi aspal, yaitu komposisi kimia dan sifat-sifat fisik aspal. Hal ini disebabkan karena aspal yang digunakan pada campuran beraspal berfungsi sebagai bahan pengikat, yaitu memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat, dan antara aspal itu sendiri, juga sebagai bahan pengisi yang mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri. Oleh sebab itu sifat reologi aspal perlu diketahui sebelum pembuatan campuran beraspal dilakukan, karena perubahan dari salah satu faktor akan merubah sifat lainnya.

Affandi (2005) melakukan evaluasi tentang kinerja campuran yang menggunakan bitumen hasil pemurnian Asbuton. Dari kajian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa bitumen hanyalah merupakan bagian minor dalam campuran namun memiliki posisi penting dalam menyediakan visko-elastisitas dan berperan sebagai pengikat. Hasil pemurnian Asbuton dapat digunakan sebagai bitumen multi-fungsi untuk pekerjaan konstruksi jalan.

Dengan mengetahui sifat reologi Asbuton murni, khususnya proporsi *visco-elastic* Asbuton, diharapkan dapat memperbaiki sifat reologi aspal minyak yang masih banyak digunakan sebagai material perkerasan jalan. Dan selanjutnya dapat meningkatkan pemanfaatan Asbuton di Indonesia.

Beberapa penelitian terdahulu yang memanfaatkan Asbuton menghasilkan kesimpulan yang sama, bahwa

penambahan Asbuton akan memperbaiki sifat reologi aspal pen. Affandi (2006b) menguraikan sifat-sifat Asbuton hasil teknologi ekstraksi yang mempunyai kadar mineral sudah sangat kecil. Hasil pengujian menunjukkan ekstraksi Asbuton dan campuran beraspal yang menggunakan ekstraksi Asbuton, mempunyai sifat yang baik umumnya dibandingkan aspal minyak biasa, terutama untuk daerah dimana temperaturnya cukup tinggi di Indonesia. Sedangkan Affandi (2006a) menggunakan hasil pemurnian Asbuton Lawele sebagai bahan campuran beraspal untuk perkerasan jalan. Produk Asbuton Murni ini mempunyai sifat-sifat yang baik, dilihat dari hasil pengujian fisiknya seperti penetrasi, titik leleh, kelarutan, daktilitas, kehilangan berat dengan *Thin Film Oven Test*, serta nilai *Penetration Index* yang tinggi (-0,144) dibanding aspal minyak konvensional sekitar 1,127, sehingga sangat cocok untuk lalu lintas berat dan daerah dengan temperatur tinggi seperti Indonesia.

Selain itu Kurniadji (2008) juga melakukan modifikasi aspal keras standar dengan bitumen Asbuton hasil ekstraksi untuk meningkatkan nilai indeks penetrasi (*Penetration Index*) dan kelas kinerja (*Performance Grade, PG*). Hasil penggabungan aspal keras standar pen 60 dengan bitumen Asbuton meningkatkan nilai PI dari -1,01 pada 0% bitumen Asbuton menjadi +0,61 pada 100% bitumen Asbuton, dan dari PG56 menjadi PG95. Rahman (2010) melakukan penelitian untuk memperoleh gambaran yang bersifat teknis dari perbaikan sifat reologi akibat penambahan bitumen Asbuton dengan beberapa variasi. Dari penelitian tersebut diperoleh beberapa kesimpulan tentang peningkatan kinerja dalam kerangka sifat reologi, seperti peningkatan kekerasan bitumen, peningkatan tingkat titik meleleh dan peningkatan nilai terhadap perubahan temperatur.

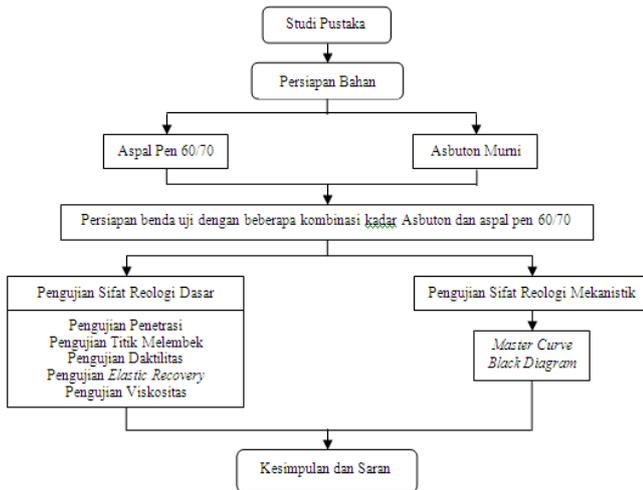
Secara umum, tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji potensi perbaikan sifat reologi *visco-elastic* dari penambahan Asbuton murni ke dalam aspal pen 60/70, meliputi pengaruh penambahan Asbuton murni terhadap nilai penetrasi, viskositas, titik leleh, daktilitas, dan *elastic recovery* dengan melakukan pengujian sifat bahan aspal, nilai G^* dan *phase angle* (δ) dengan melakukan pengujian menggunakan alat *Dynamic Shear Rheometer* (DSR), dan hubungan antara suhu (T), *phase angle* (δ) dan modulus kekakuan bitumen (S_{bii}) dengan membuat *Master Curve* dan *Black Diagram* dari beberapa kombinasi Asbuton murni dan aspal pen 60/70 untuk 3 macam variasi suhu (T).

METODE PENELITIAN

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Ada dua komponen utama yang dititik beratkan pada penelitian ini yaitu pengujian sifat reologi dasar dan pengujian sifat reologi mekanistik dari campuran aspal pen 60/70 dan Asbuton murni.

Tabel 1. Nilai Penetrasi dan Titik Melembek

No	% Asbuton	Nilai Penetrasi (dmm)	Titik Melembek (°C)
1	0%	66,5	50,0
2	2%	58,0	52,0
3	4%	52,2	53,0
4	6%	43,2	54,0
5	8%	41,7	55,0
6	10%	37,3	56,5
7	20%	27,2	59,0
8	30%	19,2	63,0
9	40%	3,2	69,0
10	50%	2,0	75,0
11	60%	1,5	77,5
12	70%	1,2	84,0
13	80%	0,8	90,0
14	90%	0,5	99,5
15	92%	0,5	101,0
16	94%	0,5	103,0
17	96%	0,5	104,0
18	98%	0,5	105,0
19	100%	0,5	105,5



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal minyak pen 60/70 dan Asbuton murni yang diperoleh dari hasil ekstraksi Asbuton Lawele. Kombinasi prosentase campuran Asbuton murni dan aspal pen 60/70 yang digunakan untuk pengujian DSR, penetrasi dan titik lembek adalah 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 92%, 94%, 96%, 98%, 100%. Sedangkan untuk pengujian viskositas, daktilitas dan *elastic recovery* digunakan kombinasi prosentase campuran Asbuton murni dan aspal pen 60/70 sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

E. Hasil Pengujian Sifat Reologi Dasar

Sifat reologi dasar campuran bitumen diamati dengan pengujian Penetrasi, Titik Melembek, Daktilitas, *Elastic Recovery* dan Viskositas. Hasil pengujian Penetrasi dan Titik Melembek untuk 19 variasi kadar Asbuton murni disajikan pada Tabel 1.

Sedangkan untuk pengujian Daktilitas, *Elastic Recovery*, dan Viskositas dilakukan untuk variasi kadar Asbuton murni yang berbeda. Tabel 2 berikut menyampaikan hasil pengujian Daktilitas, *Elastic Recovery* dan Viskositas.

F. Hasil Pengujian Sifat Reologi Mekanistik

Pengujian laboratorium dengan alat DSR yang dilakukan, menghasilkan nilai *Performance Grade* (PG), *Complex Shear Modulus* (G^*) dan *Phase Angle* (δ) untuk berbagai variasi kadar Asbuton murni. Data nilai *Complex Shear Modulus* (G^*) dan *Phase Angle* (δ) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Nilai Daktilitas, *Elastic Recovery* dan Viskositas

No	% Asbuton	Daktilitas (cm)	<i>Elastic Recovery</i> (%)	Viskositas	
				Suhu (°C)	Viskositas Kinematik (cSt)
1	0%		93,5	120	1044,22
				140	366,24
				160	139,52
				180	529,74
2	10%		92,5	160	246,34
				180	115,54
				200	754,28
				180	355,34
3	20%	62,8	92,5	200	200,56
				160	
				180	
				200	
4	30%	13,5			
5	40%	1,0			
6	50%	0,5			
7	60%	0,5			
8	70%	0,5			
9	80%	0,5			
10	90%	0,3			
11	100%	0,1			

Nilai *Performance Grade* (PG) disajikan pada Tabel 4. *Performance Grade* (PG) yang diperoleh pada pengujian ini adalah nilai PG atas, yaitu nilai PG yang menyatakan temperatur tertinggi lapisan beraspal tanpa mengalami deformasi.

Tabel 3. Nilai *Complex Shear Modulus* (G^*) dan *Phase Angle* (δ)

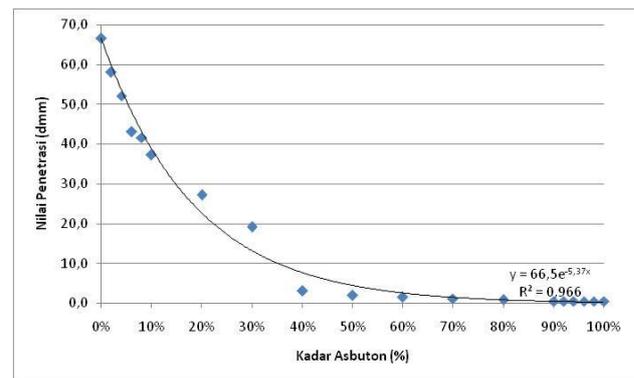
No.	% Asbuton	Suhu (°C)	Delta (Degrees)	$ G^* $ (Pa)	$ G^* /\sin(\delta)$ (kPa)
1	0%	58	85,52	3575	3,586
		64	86,93	1591	1,593
		70	88,00	742,7	0,7431
2	2%	58	85,50	3648	3,66
		64	86,96	1577	1,58
		70	87,97	720,9	0,7213
3	4%	58	85,36	4133	4,146
		64	86,81	1818	1,821
		70	87,90	844,2	0,8448
4	6%	58	85,78	3316	3,325
		64	87,11	1452	1,454
		70	88,08	679,6	0,68
5	8%	58	85,46	3898	3,91
		64	86,87	1721	1,724
		70	87,95	809,6	0,8101
6	10%	58	84,18	5764	5,794
		64	85,95	2518	2,524
		70	87,28	1154	1,155
7	20%	58	83,31	6688	6,734
		64	85,24	2914	2,924
		70	86,69	1319	1,322
8	30%	58	82,99	7919	7,978
		64	85,11	3390	3,403
		70	86,67	1531	1,534
9	40%	58	76,12	44160	45,48
		64	79,20	18850	19,19
		70	81,95	8226	8,308
10	50%	58	70,12	1,30,E+05	138,3
		64	73,27	58720	61,32
		70	76,60	8226	8,308
11	60%	58	73,27	2,79,E+05	300,3
		64	76,60	1,38,E+05	146,6
		70	73,46	64400	67,18
12	70%	58	64,01	6,51,E+05	723,7
		64	68,37	2,62,E+05	281,3
		70	70,66	1,33,E+05	141,3
13	80%	58	59,61	1,92,E+06	2226
		64	63,79	7,87,E+05	281,3
		70	68,49	3,10,E+05	141,3
14	90%	58	59,46	4,33,E+06	5028
		64	61,55	1,85,E+06	2106
		70	65,58	7,51,E+05	824,7
15	92%	58	58,62	5,92,E+06	6929
		64	60,83	2,47,E+06	2827
		70	64,59	1,02,E+06	1126
16	94%	58	58,46	6,10,E+06	7157
		64	60,51	2,58,E+06	2968
		70	64,11	1,08,E+06	1202
17	96%	58	59,49	8,44,E+06	9797
		64	60,59	3,54,E+06	4064
		70	63,35	1,50,E+06	1682
18	98%	58	60,48	9,69,E+06	11130
		64	60,87	4,11,E+06	4701
		70	63,14	1,75,E+06	1960
19	100%	58	61,73	1,02,E+07	11610
		64	60,98	4,44,E+06	5073
		70	63,26	1,88,E+06	2099

Tabel 4. Nilai *Performance Grade* (PG)

No	% Asbuton	PG
1	0%	67,67
2	2%	67,52
3	4%	68,66
4	6%	67,00
5	8%	68,31
6	10%	71,33
7	20%	72,31
8	30%	73,05
9	40%	86,31
10	50%	94,10
11	60%	103,8
12	70%	108,5
13	80%	106,8
14	90%	114,7
15	92%	116,4
16	94%	117,7
17	96%	120,6
18	98%	122,4
19	100%	123,7

G. Kajian Pengaruh Kadar Asbuton Murni

1) Pengaruh Kadar Asbuton Murni Terhadap Parameter Dasar Reologi: Dari sisi nilai Penetrasi, peningkatan kadar Asbuton murni pada campuran aspal Pen 60/70, secara konsisten meningkatkan kekerasan bitumen atau menurunkan nilai Penetrasi, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

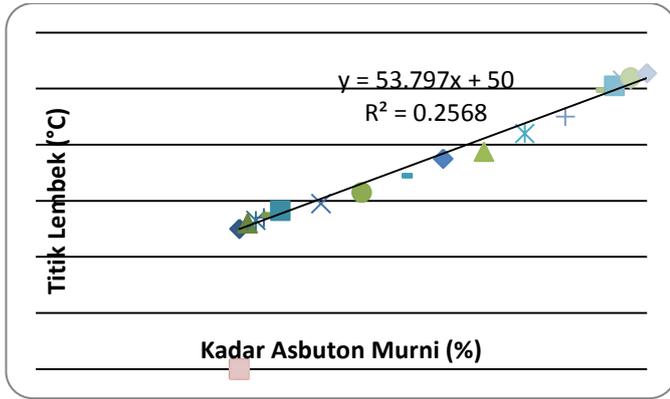


Gambar 2. Hubungan Kadar Asbuton Murni dan Nilai Penetrasi

Dari tinjauan tersebut diperoleh hubungan kadar Asbuton murni (Ab) dan Nilai Penetrasi (Pen), sebagai berikut:

$$Pen = 66,5 \cdot 10^{-5,37(Ab)} \quad (1)$$

Selanjutnya untuk parameter Titik Melembek (SP = *Softening Point*), diperoleh hubungan antara penambahan kadar Asbuton murni dan *Softening Point* seperti disampaikan pada Gambar 3.

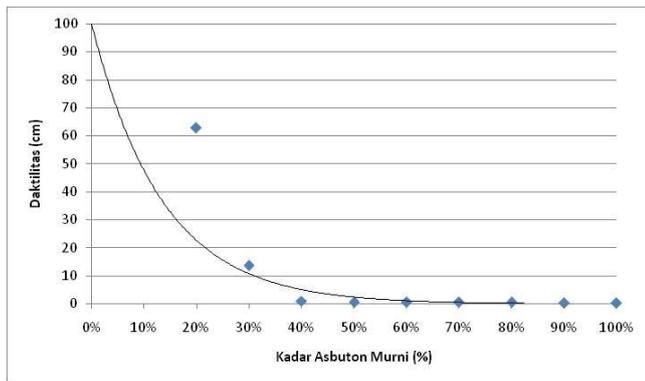


Gambar 3. Hubungan Kadar Asbuton Murni dan Titik Melembek

Dari tinjauan tersebut diperoleh hubungan kadar Asbuton murni (A_b) dan Titik Melembek (*Softening Point*), sebagai berikut;

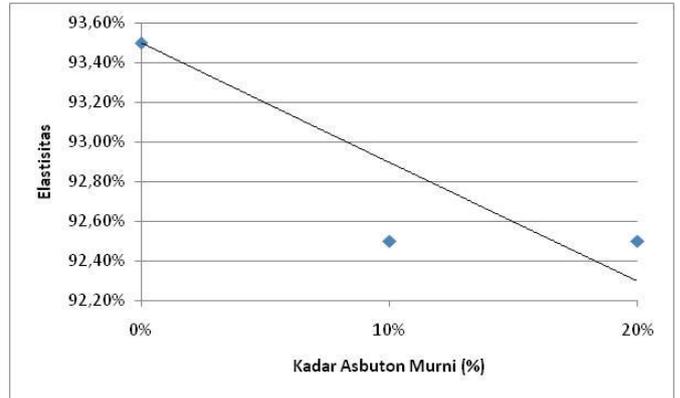
$$SP = 53,79 (A_b) + 50 \quad (2)$$

Dari sisi parameter *Softening Point*, penambahan kadar Asbuton murni pada campuran aspal Pen 60/70, secara konsisten meningkatkan temperatur *Softening Point*. Sedangkan dari sisi parameter Daktilitas, penambahan kadar Asbuton murni pada campuran aspal Pen 60/70, secara konsisten menurunkan kekenyalan bitumen atau menurunkan Daktilitas, seperti disampaikan pada Gambar 4.



Gambar 4: Hubungan Kadar Asbuton Murni dan Daktilitas

Penambahan kadar Asbuton murni pada campuran bitumen akan secara konsisten menurunkan elastisitas bitumen, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5: Hubungan Kadar Asbuton Murni dan *Elastic Recovery*

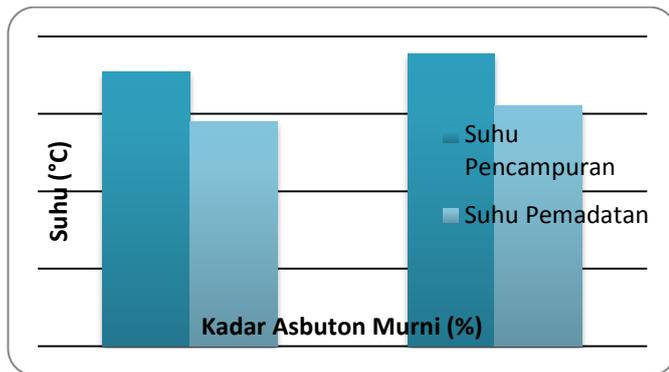
Dari hasil pengujian viskositas dengan Saybolt-Furol, dapat ditarik hubungan antara suhu dengan Viskositas Kinematik seperti pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6: Hubungan Suhu dan Viskositas Kinematik

Dalam pelaksanaannya, pengujian viskositas hanya dilakukan untuk kadar Asbuton murni 0%, 10%, dan 20%. Tetapi pada pengujian kadar Asbuton murni 20% diperoleh nilai Viskositas Kinematik sebesar 200,56 cSt pada suhu 200 °C. Pada kondisi ini tidak dapat diperoleh suhu pencampuran untuk kadar Asbuton murni 20%, karena suhu pencampuran diperoleh pada nilai Viskositas Kinematik sebesar 178 cSt. Untuk mendapatkan nilai Viskositas Kinematik tersebut, maka suhu pada Saybolt-Furol harus ditingkatkan lagi. Hal ini tidak mungkin dilakukan, karena kemampuan suhu pada Saybolt-Furol maksimal adalah 200 °C. Oleh karena itu data pengujian Viskositas Kinematik dengan Saybolt-Furol hanya diperoleh untuk kadar Asbuton murni 0% dan 10%.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa suhu pemadatan dan pencampuran meningkat dengan penambahan kadar Asbuton murni. Hal ini menunjukkan bahwa makin tinggi persentase Asbuton murni, maka campuran aspal akan makin kental.



Gambar 7: Hubungan Kadar Asbuton Murni dengan Suhu Pencampuran dan Suhu Pemadatan

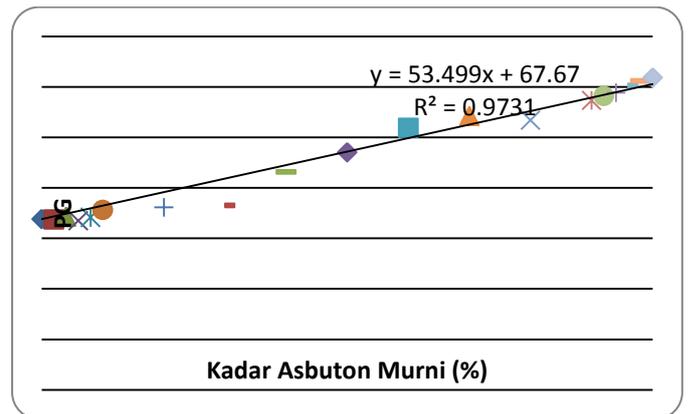
Kesimpulan lain yang dapat diambil adalah, jika menggunakan campuran bitumen dengan kadar Asbuton murni 20% atau lebih, maka suhu pencampuran dan suhu pemadatnya sangat tinggi, yaitu di atas 200 °C. Penggunaan suhu pencampuran dan pemadatan yang sangat tinggi ini memungkinkan aspal pen 60/70 akan mengalami kerusakan pada suhu tersebut, sehingga akan mengurangi *performance* campuran secara keseluruhan.

2) *Pengaruh Kadar Asbuton Murni Terhadap Parameter Reologi Mekanistik*: Pengujian terhadap parameter reologi mekanistik dilakukan dengan alat *Dynamic Shear Rheometer* (DSR). Pada penelitian ini sapuan temperatur (*temperatur sweep*) tidak dimulai dari suhu -20°C atau 10°C seperti pada referensi atau penelitian terdahulu, melainkan menyesuaikan dengan kondisi cuaca dan suhu yang ada di Indonesia yaitu 58°C, 64°C dan 70°C.

Hubungan kadar Asbuton murni dan *Performance Grade* (PG) dari hasil pengujian disajikan pada Gambar 8. Tinjauan dari sisi *Performance Grade* (PG) dapat dilihat bahwa nilai temperatur pada PG akan meningkat sejalan dengan makin bertambahnya prosentase Asbuton murni. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketahanan aspal terhadap temperatur tinggi memiliki kecenderungan meningkat.

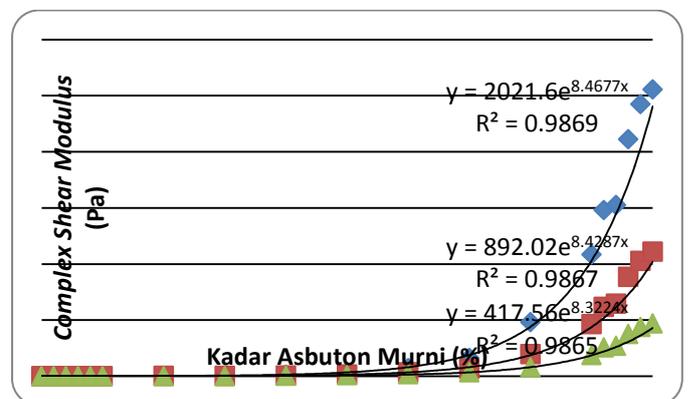
Dari tinjauan tersebut diperoleh hubungan kadar Asbuton murni (Ab) dan *Performance Grade* (PG), sebagai berikut;

$$PG = 53,49 (Ab) + 67,67 \quad (3)$$



Gambar 8: Hubungan *Performance Grade* (PG) dan Kadar Asbuton Murni

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa untuk suhu yang sama nilai G^* akan semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar Asbuton murni.



Gambar 9: Hubungan *Complex Shear Modulus* (G^*) dan Kadar Asbuton Murni

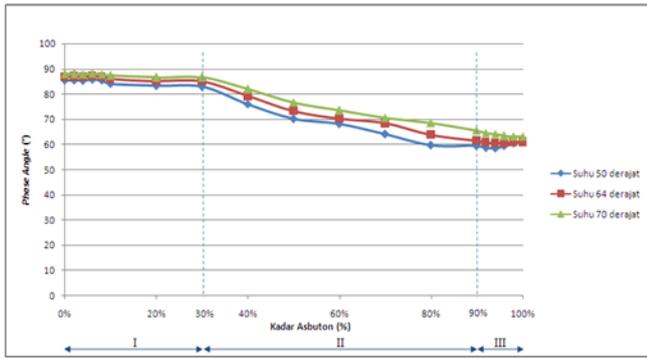
Dari data nilai *Complex Shear Modulus* (G^*), diperoleh satu persamaan hubungan antara *Complex Shear Modulus* (G^*), suhu dan kadar Asbuton murni sebagai berikut:

$$G^* = 10,269,633 - 172,058 T + 41,701.538 (Ab) \quad (4)$$

$$R^2 = 0.538$$

dimana: G^* = *Complex Shear Modulus* (Pa)
T = suhu (°C)
Ab = kadar Asbuton murni

Pada Gambar 10 disampaikan hubungan kadar Asbuton murni dan *phase angle* berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 10: Hubungan Kadar Asbuton Murni dan *Phase Angle* (δ)

Dari pengamatan terhadap hubungan tersebut, dapat dilihat beberapa hal yang sesuai dengan temuan yang telah disampaikan pada Francken (1998) dimana nilai *Phase Angle*, yang nilainya merupakan indikasi proporsi *G''* (*Loss Modulus*) akan meningkat seiring dengan pertambahan suhu.

Dari data nilai *Phase Angle* (δ), diperoleh satu persamaan hubungan antara *Phase Angle* (δ), suhu dan kadar Asbuton murni sebagai berikut:

$$\delta = 65,941 + 0.357 T - 0.288 (Ab) \quad (5)$$

$$R^2 = 0.973$$

dimana: δ = *Phase Angle*
 T = suhu ($^{\circ}C$)
 Ab = kadar Asbuton murni

Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai *phase angle* akan turun seiring dengan penambahan kadar asbuton murni. Hal ini menunjukkan bahwa proporsi *viscous* pada campuran bitumen tersebut akan berkurang, dengan kata lain campuran bitumen tersebut lebih bersifat elastis.

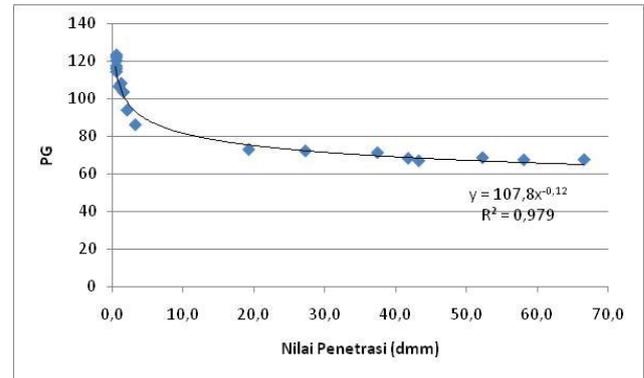
Lebih lanjut berdasarkan hasil pengamatan terhadap hubungan tersebut, terdapat beberapa indikasi, yaitu:

1. Proporsi efektif campuran aspal dan Asbuton murni untuk meningkatkan elastisitas berada pada zona 2, yaitu proporsi Asbuton murni sebesar 30% - 90%.
2. Nilai *phase angle* (δ) minimal pada campuran aspal dan Asbuton murni adalah sebesar 58.46° yang terjadi pada proporsi asbuton sebesar 94%. Sehingga maksimum elastisitas akan tercapai pada campuran aspal dan Asbuton murni dengan proporsi Asbuton murni sebesar 94%.
3. Penggunaan Asbuton murni sebagai aditif ternyata tidak meningkatkan elastisitas secara signifikan. Hal ini bisa dilihat pada zona 1, dimana nilai *phase angle* (δ) yang dihasilkan tidak berubah secara signifikan.

H. Kajian Teoritis

Parameter yang dikaji pada kajian teoritis ini adalah hubungan antara *Performance Grade* (PG) dengan Nilai

Penetrasi dan Viskositas. Pada Gambar 11 berikut, ditampilkan hubungan Nilai Penetrasi dan *Performance Grade* (PG).



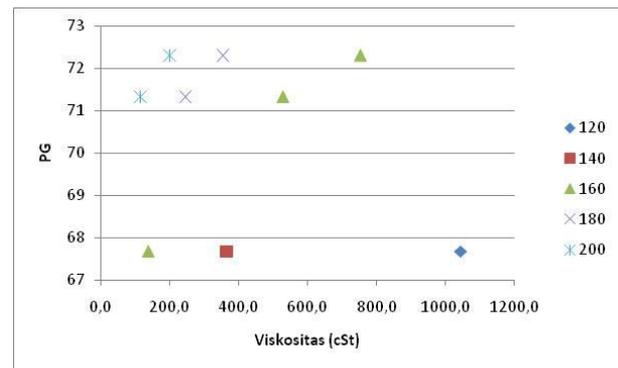
Gambar 11: Hubungan Nilai Penetrasi dan *Performance Grade* (PG)

Dari tinjauan tersebut diperoleh hubungan Nilai Penetrasi (Pen) dan *Performance Grade* (PG), sebagai berikut:

$$PG = 107,8 (Pen)^{-0,12} \quad (6)$$

Berdasarkan Gambar 11 di atas dapat dilihat bahwa nilai PG akan semakin berkurang seiring dengan peningkatan Nilai Penetrasi. Hal ini juga berarti bahwa jika tingkat kekerasan aspal menurun, maka ketahanan terhadap temperatur tinggi juga berkurang.

Selanjutnya, hubungan antara Viskositas dan *Performance Grade* (PG) disajikan pada Gambar 12. Gambar tersebut menunjukkan bahwa pada suhu tertentu, peningkatan nilai PG seiring dengan peningkatan nilai Viskositas Kinematik. Hal ini menjelaskan bahwa ketika kekentalan aspal meningkat, maka ketahanan terhadap temperatur tinggi juga meningkat.



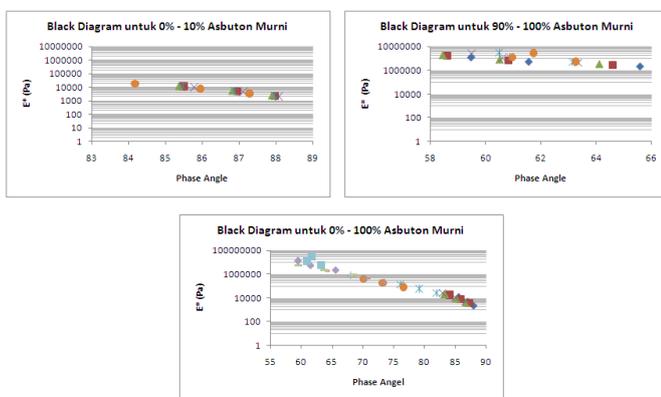
Gambar 12: Hubungan Viskositas dan *Performance Grade* (PG)

Kesimpulan lain yang dapat diambil dari hubungan antara viskositas dan *Performance Grade* (PG) adalah apabila ingin menggunakan nilai PG yang tinggi, maka nilai viskositasnya juga tinggi. Untuk aspal dengan nilai

viskositas tinggi, maka suhu pencampuran dan pematatannya juga tinggi. Hal ini mungkin akan mempengaruhi kualitas dari aspal pen yang digunakan, karena pelaksanaan pada suhu tinggi memungkinkan terjadinya kerusakan pada aspal pen. Selain itu, penggunaan suhu yang tinggi juga akan mempengaruhi kemudahan pelaksanaan (*workability*) di lapangan.

I. Black Diagram

Analisis yang juga dilakukan pada penelitian ini adalah meninjau hubungan Modulus Kekakuan Bitumen (E^*) dan *Phase Angle*. Hubungan (kurva) ini, seperti diajukan oleh Francken (1998) disebut sebagai *Black Diagram* (Gambar 13). *Black diagram* dapat menyatakan durabilitas aspal. Aspal yang nilai *phase angle* (δ) kecil menunjukkan aspal lebih *durable*. Dan sebaliknya, aspal yang memiliki nilai *phase angle* (δ) besar menunjukkan aspal kurang *durable*.



Gambar 13: *Black Diagram*

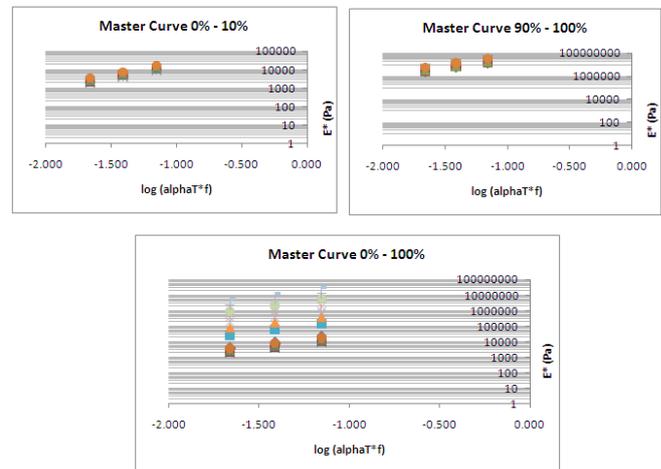
Beberapa hal yang dapat disampaikan, sebagai analisis dari *Black Diagram* adalah:

1. Kadar Asbuton murni mempengaruhi nilai E^* . Dimana semakin besar kadar Asbuton murni, semakin tinggi nilai E^* -nya.
2. Nilai E^* menurun seiring dengan meningkatnya *Phase Angle*, yang menunjukkan bahwa peningkatan proporsi viskos (G'') akan menurunkan E^* .
3. Kadar Asbuton murni juga mempengaruhi nilai *Phase Angle* (δ). Nilai δ akan semakin kecil seiring bertambahnya kadar Asbuton murni. Hal ini berarti bahwa semakin besar kadar Asbuton murni, maka bitumen tersebut akan semakin *durable*. Kondisi inilah yang diharapkan agar bitumen lebih tahan terhadap kriteria kerusakan, terutama *rutting*.

J. Master Curve

Selain *Black Diagram*, analisis lain yang juga dilakukan adalah meninjau hubungan Modulus Kekakuan Bitumen (E^*) dan *Shifting Factor* (*Master Curve*). *Master curve* (Gambar 14) dapat digunakan

untuk menyatakan tingkat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur dan frekuensi pembebanan. Aspal yang memiliki *Master Curve* dengan kemiringan landai menunjukkan aspal lebih peka terhadap perubahan temperatur dan frekuensi pembebanan. Sebaliknya, aspal yang memiliki *Master Curve* dengan kemiringan yang curam menunjukkan aspal kurang peka terhadap perubahan temperatur dan frekuensi pembebanan.



Gambar 14: *Master Curve*

Beberapa hal yang dapat disampaikan, sebagai analisis dari *Master Curve* adalah:

1. Suhu pengujian mempengaruhi nilai *shifting factor*. Dimana semakin tinggi suhu pengujian, semakin kecil nilai *shifting factor*-nya.
2. Nilai E^* menurun seiring dengan menurunnya nilai *shifting factor*.
3. Nilai *shifting factor* bernilai negatif terjadi karena pengaruh suhu pengujian yang diambil. Pada penelitian ini suhu pengujian dimulai dari 58 °C yang mengakibatkan nilai *shifting factor* bernilai negatif, sebaliknya jika suhu pengujian yang diambil lebih rendah nilai *shifting factor* akan bernilai positif.
4. Kadar Asbuton murni juga mempengaruhi tingkat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur dan frekuensi pembebanan. Gradien *Master Curve* semakin besar seiring dengan pertambahan kadar Asbuton murni. Gradien *Master Curve* yang semakin kecil (kurva makin landai) menunjukkan bahwa campuran bitumen kurang peka terhadap perubahan temperatur dan frekuensi pembebanan. Kondisi inilah yang diharapkan agar bitumen dapat diaplikasikan pada rentang temperatur dan frekuensi pembebanan yang lebar.

KESIMPULAN DAN SARAN

K. Kesimpulan

Dari kajian mengenai sifat reologi dasar, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Campuran bitumen Asbuton murni dan aspal pen 60/70 meningkat kekerasannya seiring dengan penambahan kadar Asbuton murni. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan nilai Pen, peningkatan titik melembek (*Softening Point*), penurunan daktilitas dan penurunan *elastic recovery* bitumen. Kondisi ini menguntungkan, terutama dalam tinjauan usaha perbaikan sifat reologi bitumen pada aplikasi campuran aspal di daerah bertemperatur tinggi di Indonesia.
- b. Berdasarkan nilai Viskositas Kinematik, untuk penggunaan kadar Asbuton murni 20% atau lebih akan membutuhkan suhu pencampuran dan suhu pemadatan yang sangat tinggi, yaitu di atas 200 °C. Kondisi ini akan mempengaruhi kondisi dari aspal pen yang digunakan, yaitu memungkinkan terjadinya kerusakan pada aspal pen apabila dipanaskan pada suhu tinggi.

Dari kajian mengenai sifat reologi mekanistik, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Terjadi perbaikan sifat reologi mekanistik bitumen Asbuton murni dan aspal pen 60/70, misalnya peningkatan *Performance Grade* (PG) dan *Complex Shear Modulus* (G^*) seiring dengan penambahan kadar Asbuton murni.
- b. Dari tinjauan *phase angle* (δ), peningkatan suhu pengujian akan menurunkan nilai *phase angle* (δ) yang artinya menurunkan bagian elastis dari bitumen. Hal ini sebanding dengan pengujian *elastic recovery*, yang juga mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar Asbuton murni.

Dari kajian *Master Curve* dan *Black Diagram*, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dalam tinjauan durabilitas, dari *Black Diagram* dapat disimpulkan bahwa nilai *phase angle* (δ) akan semakin kecil seiring bertambahnya kadar Asbuton murni. Hal ini berarti bahwa semakin besar kadar Asbuton murni, maka bitumen tersebut akan semakin *durable* terhadap kriteria kerusakan, terutama *rutting*.
- b. Dalam tinjauan sensitifitas bitumen, *Master Curve* menjelaskan bahwa kadar Asbuton murni juga mempengaruhi tingkat kepekaan (sensitifitas) aspal terhadap perubahan temperatur dan frekuensi pembebanan. Dari *Master Curve* yang dihasilkan pada penelitian ini diketahui bahwa gradien *Master Curve* semakin besar seiring dengan penambahan kadar Asbuton murni. Hal

ini menunjukkan bahwa penambahan Asbuton murni ke dalam aspal menjadikan aspal dan Asbuton murni tersebut lebih peka terhadap perubahan temperatur dan frekuensi pembebanan. Kondisi ini berlawanan dengan kondisi yang diinginkan di lapangan, yaitu campuran yang tidak peka terhadap perubahan temperatur dan frekuensi pembebanan, untuk aplikasi pada rentang temperatur dan frekuensi pembebanan yang lebar.

L. Saran

Berikut disampaikan beberapa saran untuk dapat melanjutkan dan melengkapi ide dasar penelitian, sebagai berikut:

1. Melakukan kajian sifat reologi mekanistik lebih dalam dengan variasi suhu yang lebih beragam, yang dapat mewakili kondisi perkerasan di berbagai lokasi di Indonesia.
2. Melakukan kajian sifat reologi mekanistik lebih jauh dengan kadar Asbuton yang lebih detail.
3. Melakukan kajian sifat reologi mekanistik bitumen dengan mempertimbangkan waktu pembebanan (*time sweep*).
4. Melakukan kajian perbaikan sifat reologi bitumen dengan menggunakan aspal dengan nilai pen yang lebih tinggi.
5. Melakukan pencampuran aspal pen dengan Asbuton murni dengan metode yang lebih baik, sehingga dihasilkan campuran bitumen yang homogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, F., 2006a, Jurnal, Hasil Pemurnian Asbuton Lawele Sebagai Bahan Pada Campuran Beraspal Untuk Perkerasan Jalan, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum, Republik Indonesia.
- Affandi, F., 2006b, Jurnal, Ekstraksi Aspal Asbuton Untuk Campuran Beraspal Panas, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum, Republik Indonesia.
- Affandi, F., 2005, Jurnal, *Properties of Refined Natural Asphalt Buton (Asbuton) as Pavement Materials*, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum, Republik Indonesia.
- Francken, L., 1998, *Bituminous Binders and Mixes; State Of The Art And Interlaboratory Tests On Mechanical Behaviour And Mix Design*, Routledge, New York, NY 100001, 52-55.
- Hermadi, M. dan Sjahdanulirwan, M., 2008, Jurnal, Usulan Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Asbuton Lawele Untuk Perkerasan Jalan, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum, Republik Indonesia.
- Kurniadji, 2008, Jurnal, Modifikasi Aspal Keras Standar Dengan Bitumen Asbuton Hasil Ekstraksi, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum, Republik Indonesia.
- Rahman, H., 2010, Laporan Disertasi, Evaluasi Model Modulus Bitumen Asbuton Dan Model Modulus Campuran Yang Mengandung Bitumen Asbuton, Institut Teknologi Bandung.