

PENGARUH VARIASI WAKTU PEMBEBANAN TERHADAP SIFAT REOLOGI *VISCO-ELASTIC* ASPAL PEN 80/100 DENGAN PENAMBAHAN ASBUTON MURNI

Rani Bastari Alkam

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia

Jl. Urip Sumoharjo KM. 05 Makassar

e-mail: ranibastari@gmail.com

Abstract: Time Sweep (loading time) is one of the main variables affecting the performance of asphalt related to loading resistance on the road surface. To describe the loading time effect on the viscoelastic properties of asphalt pen 80/100 with varying content of pure Asbuton with different time sweeps, the basic rheological characteristics and mechanical rheological properties were measured with a dynamic shear rheometer in the laboratory. Complex shear modulus (G^*) decreased, phase angle values increased, and strain value increased with increasing loading time. Vehicle speed and loading frequency were inversely proportional to loading time; thus, it can be concluded that increasing the vehicle speed and increasing the vehicle loading frequency will cause an increase in G^* , decrease in phase angle, and decrease in strain. Bitumen stiffness modulus (E^*) was inversely proportional to the increase in loading time. Permanent deformation damage criteria, both before and after mechanical rheology test (RTFOT), showed that the shorter the loading time, the stronger the bitumen is in resisting permanent deformation damage. Based on fatigue cracking criteria, all combinations of loading time and Asbuton content fulfill the statutory requirements for fatigue cracking resistance.

Keywords: Bitumen Stiffness Modulus, Complex Shear Modulus, Permanent Deformation, Fatigue Cracking Resistance.

Abstrak: Waktu pembebanan (Time Sweep) merupakan salah satu variabel utama yang mempengaruhi kinerja material aspal yang berkaitan dengan ketahanan terhadap pembebanan pada perkerasan jalan. Untuk dapat memperoleh gambaran dari pengaruh variasi waktu pembebanan terhadap sifat reologi visco-elastic aspal pen 80/100 dan Asbuton murni maka dilakukan pengujian sifat reologi dasar dan sifat reologi mekanistik dengan alat Dynamic Shear Rheometer dengan beberapa variasi kadar Asbuton murni. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan waktu pembebanan menyebabkan penurunan nilai complex shear modulus (G^*), peningkatan nilai phase angle, dan peningkatan nilai regangan. Jika hasil ini dikaitkan dengan kecepatan kendaraan dan frekuensi pembebanan yang berbanding terbalik dengan waktu pembebanan, maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan kecepatan kendaraan dan bertambahnya frekuensi pembebanan kendaraan akan menyebabkan peningkatan nilai G^* , penurunan nilai phase angle, dan penurunan nilai regangan pada sampel. Dalam tinjauan modulus kekakuan bitumen diperoleh peningkatan waktu pembebanan menyebabkan penurunan modulus kekakuan bitumen. Dalam kajian kriteria kerusakan Permanent Deformation baik pada kondisi original maupun pada kondisi setelah RTFOT dapat disimpulkan bahwa semakin kecil waktu pembebanan maka semakin kuat bitumen tersebut dalam menahan kerusakan Permanent Deformation. Sedangkan, dalam kajian kriteria kerusakan Fatigue Cracking dapat disimpulkan bahwa seluruh kombinasi waktu pembebanan memenuhi persyaratan jika dilakukan tinjauan ketahanan material terhadap fatigue cracking.

Kata kunci: Modulus Kekakuan Bitumen, Complex Shear Modulus, Kriteria Kerusakan

PENDAHULUAN

Pemilihan material perkerasan jalan yang tepat sesuai dengan karakteristik daerah adalah hal penting dalam pencapaian konsistensi kualitas perkerasan jalan sesuai dengan umur layan yang

direncanakan. Aspal pen 80/100 merupakan bahan pengikat yang tepat untuk dimanfaatkan di daerah bercuaca dingin dan daerah dengan kebutuhan lalu lintas rendah hingga menengah. Namun kuantitas persediaan aspal pen 80/100

di negeri ini sangat terbatas. Salah satu solusi yang berkembang untuk mengatasi keterbatasan ini adalah meningkatkan sifat reologi dari bitumen dengan menambahkan bitumen yang lebih keras seperti Asbuton untuk mengurangi ketergantungan terhadap aspal minyak.

Kinerja campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh sifat reologi aspal, yaitu komposisi sifat fisik dan kimia aspal yang berkaitan dengan sifat visco-elastic aspal. Pemetaan proporsi bagian viscous dan elastic aspal dapat dilakukan dengan pengujian sifat reologi dasar dan mekanistik aspal untuk menentukan nilai parameter G^* (*Complex Shear Modulus*) dan δ (*phase angle*). Nilai dari parameter ini sangat dipengaruhi oleh dua variabel utama yaitu suhu dan waktu pembebanan (*time sweep*). Pada penelitian terdahulu telah dilakukan penelitian yang mengkaji pengaruh variasi suhu terhadap karakteristik reologi material beraspal. Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa penambahan Asbuton murni ke dalam aspal menjadikan campuran beraspal tersebut lebih peka terhadap perubahan temperatur (Indriyati, 2012).

Selain temperatur, waktu pembebanan merupakan variabel utama yang sangat mempengaruhi kinerja campuran beraspal yang dapat digambarkan dengan *Master Curve* dan *Black Diagram* berdasarkan hasil pengujian reologi dengan alat DSR. Kompleksitas operasi dan fungsi alat DSR menyebabkan pengadaan alat ini relatif langka. Karena keterbatasan ini maka perlu diketahui pengaruh variasi waktu pembebanan terhadap sifat reologi aspal dengan memodelkan perilaku sampel pengujian yang representatif terhadap campuran aspal pen 80/100 dan Asbuton dengan berbagai variasi waktu pembebanan.

Secara umum, tujuan pelaksanaan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh variasi waktu pembebanan (*time sweep*) terhadap sifat reologi visco-elastic serta hubungannya terhadap modulus kekakuan bitumen dan kriteria kerusakan pada Aspal pen 80/100 dengan penambahan Asbuton Murni.

Ruang lingkup penelitian untuk mencapai tujuan penelitian yaitu:

a. Aspal minyak yang digunakan adalah Aspal Pen 80/100.

- b. Asbuton murni yang digunakan berupa bitumen murni yang diperoleh dari hasil ekstraksi Asbuton Lawele.
- c. Variasi prosentase kadar Asbuton murni yang digunakan untuk pengujian reologi dasar yaitu penetrasi, titik melembek, daktilitas, dan *elastic recovery* adalah 0%, 2%, 6%, 10%, 20%, 30%, 50%, 70%, 90%, dan 100%. Sedangkan variasi kadar Asbuton murni pada pengujian viskositas adalah 0%, 2%, 6%, 10%, 20%, 30%. Variasi prosentase kadar Asbuton murni yang digunakan untuk pengujian DSR, PAV, dan RTFOT adalah 0%, 2%, 6%, 10%, dan 20%.
- d. Variasi waktu pembebanan yang digunakan dalam pengujian DSR adalah 37,6ms, 14,1 ms, 9,5 ms, 7,1 ms, 5,6ms, 4,7ms
- e. Suhu selama pengujian sifat reologi mekanistik dengan menggunakan alat DSR ditetapkan pada PG 64°C.
- f. Pengujian yang dilakukan mengacu pada standar pengujian SNI dan AASHTO.

TINJAUAN PUSTAKA

Karakteristik Aspal Pen 80/100

Aspal minyak pen 80/100 atau sesuai ASTM aspal penetrasi kelas 85/100 adalah kelas penetrasi aspal standar yang biasanya digunakan sebagai material untuk campuran perkerasan yang cocok untuk pembangunan jalan dan untuk produksi perkerasan aspal dengan sifat-sifat unggul. Jenis aspal ini berasal dari minyak mentah yang dipilih secara khusus melalui proses penyulingan yang dikendalikan. Kelas aspal ini terutama digunakan dalam aplikasi penyemprotan dan chip. Aspal kelas penetrasi ini memiliki sifat termoplastik yang menyebabkan bahan melunak pada suhu tinggi dan mengeras pada suhu yang lebih rendah. Hubungan suhu / viskositas yang unik ini penting dalam menentukan parameter kinerja seperti suhu adhesi, reologi, daya tahan dan penerapan aspal.

Pemanfaatan Asbuton Murni

Aspal Buton (Asbuton) adalah aspal alam yang terkandung dalam deposit batuan yang terdapat di pulau Buton dan sekitarnya. Pulau Buton memiliki panjang sekitar 130 km dan lebar sekitar 50 km serta dari Sulawesi Tenggara berjarak sekitar 5 km. Asbuton pertama kali ditemukan oleh seorang warga negara Belanda bernama Hetzel pada tahun 1920. Selanjutnya pada tahun 1936, Hetzel telah dapat memetakan

deposit Asbuton di Pulau Buton. Deposit Asbuton tersebar di beberapa daerah Kecamatan di Pulau Buton antara lain di Kabungka, Lawele, Ereke, Winto, Waisiu, Wariti dan lainnya, namun dari beberapa deposit Asbuton yang ada baru deposit Kabungka dan Lawele saja yang saat ini sudah dieksplorasi

Sifat Reologi Aspal

Aspal memiliki dua sifat reologi penting yaitu thermoplastic dan visco-elastic. Thermoplastic merupakan sifat kepekaan aspal terhadap suhu dimana kekentalan aspal turun bersamaan dengan meningkatnya suhu dan sebaliknya meningkat seiring dengan menurunnya suhu. Visco-elastic berarti ketika gaya bekerja/diaplikasikan, struktur aspal mengalami distorsi sebagai mana aliran.

Complex Shear Modulus (G^*) dan Phase Angle (δ)

Pada setiap kombinasi waktu dan suhu, perilaku aspal harus dikarakterisasi dengan setidaknya dua sifat yaitu total ketahanan terhadap deformasi (Complex Shear Modulus G^*) dan distribusi relatif pada respon antara bagian elastis dan bagian viscous (Phase Angle δ).

Complex Shear Modulus (G^*) adalah respon utama material terhadap deformasi ketika terkena tegangan geser secara berulang.

Phase angle merupakan sudut terukur antara aplikasi regangan (*strain*) dan respon material yang bervariasi antara 0° dan 90° (respon *fully elastic* hingga respon *fully viscous*).

Performance Grade Aspal

Menyadari keterbatasan dari pengujian empiris, *The Strategic Highway Research Program (SHRP)* mensponsori usaha penelitian untuk mengembangkan pengujian berbasis kinerja dan spesifikasi untuk bahan pengikat dan campuran. Dalam spesifikasi kinerja ini, SHRP memperkenalkan dua sifat penting untuk menentukan penilaian kinerja aspal pada rentang suhu dan tingkat pembebanan (frekuensi) tertentu yaitu G^* dan δ yang dapat diukur dengan menggunakan alat DSR.

Selain itu SHRP memperkenalkan sistem PG, yaitu sistem yang digunakan untuk mengukur properti aspal selain *penetration grading* dan *viscosity grading*. Kedua sistem ini dianggap kurang representatif terhadap kondisi

perkerasan di lapangan karena hanya dilakukan untuk satu temperatur tertentu yaitu 25°C untuk *penetration grading* dan 60°C untuk *viscosity grading*. Sedangkan sistem penilaian PG mencakup suhu tinggi dan rendah yang kemungkinan akan dialami oleh aspal pada struktur perkerasan. Sistem PG mengukur sifat fisik aspal melalui pengujian yang dimaksudkan berhubungan secara langsung dengan kinerja lapangan sesuai dengan prinsip-prinsip rekayasa. Pengujian dilakukan untuk mensimulasikan tiga tahap kritis selama umur layan aspal yaitu:

- a. Tahap pertama - transportasi, penyimpanan dan penanganan sebelum pencampuran dengan agregat.
- b. Tahap kedua - setelah pencampuran produksi dan konstruksi (pengujian RTFO digunakan sebagai pendekatan tahap penuaan jangka pendek).
- c. Tahap ketiga - penuaan aspal di jalan . Pengujian PAV (*The Pressure Ageing Vessel*) digunakan untuk mensimulasikan penuaan jangka panjang aspal).

Spesifikasi ini mencakup tiga jenis kerusakan utama pada perkerasan yaitu:

- a. Rutting, disebabkan oleh deformasi permanen pada campuran perkerasan
- b. Fatigue cracking yang berhubungan dengan energi yang hilang akibat aplikasi beban perkerasan berulang pada perkerasan, dan
- c. Thermal Cracking, yang disebabkan oleh akumulasi tegangan yang terjadi pada perkerasan akibat kondisi perubahan suhu hingga suhu rendah.

METODE PENELITIAN

Secara umum, penelitian ini dilakukan dengan metode penelitian berbasis eksperimen di Laboratorium. Komponen pengujian utama yang dititikberatkan pada penelitian ini yaitu pengujian sifat reologi viscoelastic aspal pen 80/100 dengan penambahan Asbuton Murni.

Aspal yang dipakai adalah jenis aspal lunak Pen 80/100 yang berasal dari Laboratorium Rekayasa Jalan Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung. Sedangkan Asbuton murni yang digunakan adalah Asbuton murni hasil ekstraksi dengan angka penetrasi ± 0 .

Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu aspal Pen 80/100 dan Asbuton murni dicampur

sesuai dengan prosentase kadar Asbuton murni yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu berkisar antara 0% - 100%. Penentuan kadar Asbuton ini didasarkan pada hasil penelitian sebelumnya dimana diperoleh kadar Asbuton optimal yaitu 30%. Oleh karena itu untuk kadar Asbuton dibawah 30% divariasikan lebih rapat terutama untuk kadar Asbuton dibawah 10% agar dapat dilihat perilaku campuran dimana Asbuton murni berperan sebagai bahan aditif. Proses pencampuran kedua material ini dilakukan dengan prinsip pencampuran *by weight* dimana kadar Asbuton menyatakan berat Asbuton tersebut terhadap berat total campuran.

Pengujian awal yang dilakukan adalah pengujian sifat reologi dasar untuk masing-masing kadar Asbuton murni. Pengujian ini terdiri atas beberapa pengujian yaitu pengujian penetrasi, titik melembek, daktilitas, elastic recovery, dan viskositas. Setelah pengujian reologi dasar dilakukan untuk seluruh sampel maka selanjutnya dilakukan evaluasi hasil pengujian yang diperoleh untuk menentukan variasi kadar Asbuton yang memenuhi spesifikasi aspal yang dimodifikasi dengan Asbuton (SNI 6749 2008).

Sebelum membandingkan antara hasil pengujian reologi dasar dan spesifikasi,, terlebih dahulu dilakukan pengolahan data awal untuk menentukan nilai representatif dari dua sampel untuk setiap pengujian. Dalam hal ini nilai yang dimaksud adalah nilai rata-rata dari kedua sampel. Nilai rata-rata ini kemudian dibandingkan dengan spesifikasi untuk menentukan apakah perlu dilakukan pengujian lanjut (reologi mekanistik) pada sampel tersebut atau tidak. Seleksi ini dimaksudkan untuk mengefisienkan proses pengujian dan agar diperoleh kadar Asbuton murni yang optimum dan memenuhi spesifikasi aspal yang dimodifikasi dengan Asbuton agar hasil dan rekomendasi penelitian ini dapat diterapkan secara luas dalam dunia perkerasan jalan.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian sifat reologi mekanistik dengan menggunakan *alat Dynamic Shear Rheometer (DSR)* yang dilakukan di Laboratorium Puslitbang Jalan dan Laboratorium Balai Besar Peralatan Jalan Nasional (BBPJN) IV Cikampek. Pengujian reologi mekanistik dilakukan dengan 3 pengkondisian yaitu kondisi awal, kondisi RTFOT, dan kondisi PAV.

Untuk pengujian Reologi mekanistik dengan alat DSR, dilakukan dengan menggunakan variasi waktu pembebanan (Time Sweep) yang ditentukan dengan cara menentukan interval kecepatan kendaraan yang diprediksi akan membebani lapisan perkerasan. Untuk penelitian ini, kecepatan yang digunakan adalah batas kecepatan rencana yang sering digunakan di medan datar yang merupakan kecepatan tipikal kendaraan yang sering melintasi ruas jalan di Indonesia.

Standar pengujian DSR yang digunakan adalah AASHTO T 315: *Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)*

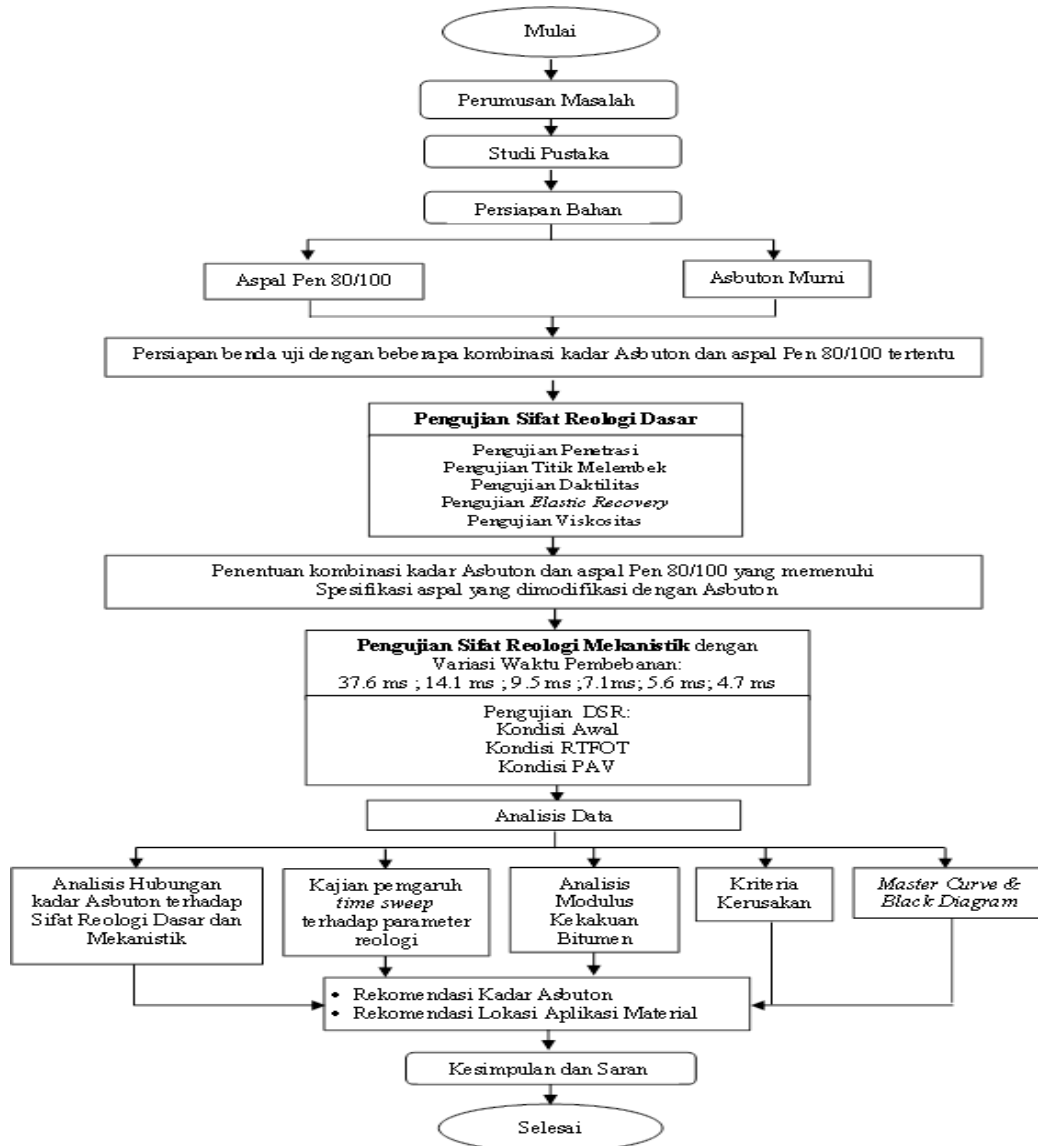
Pengujian DSR dilakukan menggunakan sampel aspal tipis yang diselipkan diantara dua piringan bundar. Piringan bawah adalah tetap sedangkan piringan atas bergerak bolak-balik melintasi sampel dengan kecepatan 10 rad/sec (1.59 Hz) untuk menciptakan gaya geser. Pengujian DSR dilakukan pada sampel aspal tanpa penuaan, penuaan dengan RTFO dan penuaan aspal dengan PAV. Pengujian ini sebagian besar dikendalikan melalui software.

Sampel kecil dari pengikat aspal diselipkan di antara dua piring. Suhu pengujian, ukuran spesimen, diameter piring, dan jarak antar piring tergantung pada jenis aspal yang akan diuji. Aspal tanpa penuaan (original) dan hasil pengujian RTFO diuji menggunakan sampel dengan ketebalan 0,04 inci (1 mm), diameter 1 inci (25 mm), dan jarak antar piringan adalah 1000 micron.

Sampel hasil pengujian PAV diuji dengan alat DSR menggunakan sampel yang lebih tebal (0,08 inci (2 mm)) dengan diameter yang lebih kecil (0,315 inci (8 mm)) dan jarak antar piringan diatur sebesar 2000 micron sehingga sudut fase terukur (δ) dapat ditentukan. Suhu pengujian ditetapkan pada nilai performance grade sebesar 64°C.

Setelah dilakukan pengumpulan data, selanjutnya dilakukan proses penyajian data yakni dengan membuat Inventarisasi dan Tabelisasi Hasil Pengujian Laboratorium. Pada tahapan ini dilakukan analisis secara grafis dan analitis untuk menentukan hubungan dan pengaruh dari setiap parameter berikut:

- Analisis Hubungan kadar Asbuton terhadap Sifat Reologi Dasar dan Mekanistik Aspal pen 80/100
 - Kajian pengaruh variasi waktu pembebanan (time sweep) pada sifat reologi viscoelastic campuran aspal pen 80/100 dan Asbuton murni
 - Analisis Modulus Kekakuan Bitumen
 - Penyusunan Master Curve dan Black Diagram
 - Analisis Kriteria kerusakan
- Secara lengkap tahapan penelitian disajikan pada gambar 1 berikut



Gambar 1. Diagram alir penelitian

HASIL PENGUJIAN

Analisis Pengaruh Kadar Asbuton Murni

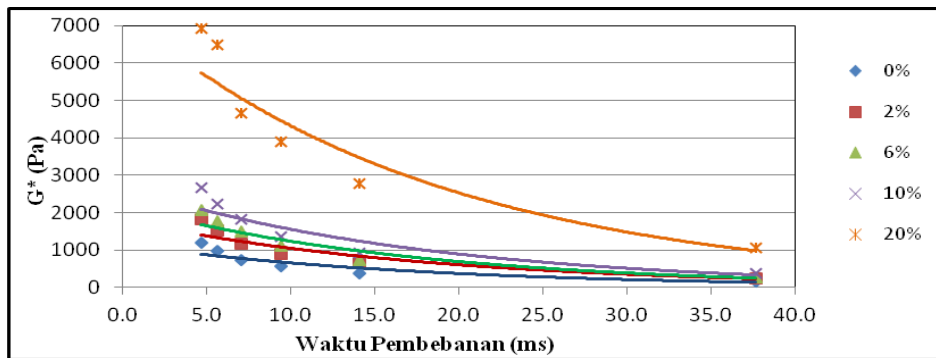
Analisis hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap campuran aspal dengan berbagai variasi kadar Asbuton murni dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan kadar Asbuton murni dalam bitumen terhadap parameter reologi dasar dan mekanistik. Pengujian terhadap parameter reologi mekanistik

dilakukan dengan alat *Dynamic Shear Rheometer* (DSR), untuk berbagai variasi kadar Asbuton murni dan sapuan waktu pembebanan (*time sweep*). Pada penelitian ini dilakukan pengujian reologi mekanistik pada lima kadar Asbuton murni mulai dari yang terkecil hingga terbesar yaitu 0%, 2%, 6%, 10%, dan 20%. Pengaruh penambahan kadar Asbuton diokuskan terhadap nilai parameter

reologi mekanistik meliputi Complex Shear Modulus dan Phase Angle serta regangan yang terjadi pada sampel aspal 80/100.

Tabel 1. Pengaruh penambahan kadar asbuton murni terhadap sifat reologi *visco-elastic* aspal

Parameter	Model Hubungan	Pengaruh Penambahan Kadar Asbuton
Penetrasi (dmm)	$Pen = 90,102 \cdot e^{-3,842 (Ab)}$	Penurunan nilai Penetrasi
Titik Melembek (°)	$SP = 63,414 (Ab) + 48,229$	Peningkatan Suhu Titik Melembek
Daktilitas (cm)	-	Penurunan nilai Daktilitas
Elastic Recovery (cm)	$ER = -26,394 (Ab) + 11,2$	Penurunan elastisitas bitumen
Viskositas	$Sc = 89,442 Ab + 155,03$ $Sd = 75,398 Ab + 146,62$	Peningkatan suhu pencampuran dan suhu pemadatan
G* (Pa)	-	Peningkatan nilai G*
δ (°)	-	Penurunan nilai Phase Angle
Regangan (γ)	-	Penurunan nilai regangan



Gambar 2. Hubungan waktu pembebanan dan *complex shear modulus*

Tabel 1 menunjukkan bahwa penambahan kadar Asbuton Murni memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap setiap parameter pengujian baik pengujian reologi dasar maupun pengujian reologi mekanistik. Untuk parameter reologi mekanistik model hubungan antara penambahan Asbuton Murni dianalisis untuk setiap waktu pembebanan.

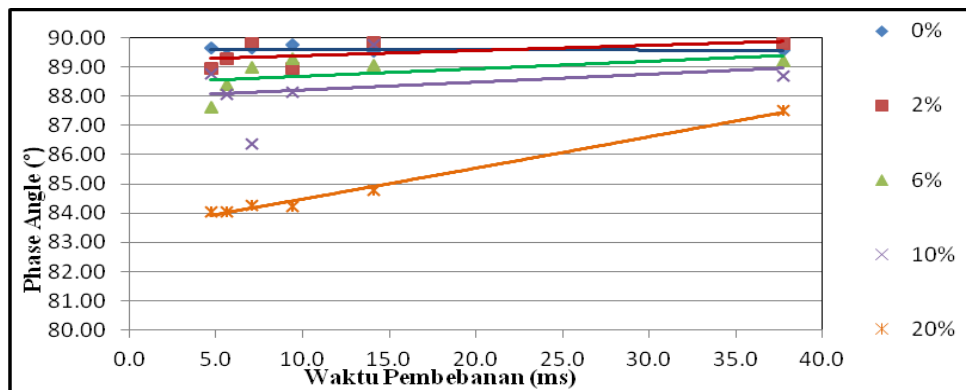
Analisis Pengaruh Waktu Pembebanan (Time Sweep)

Pengaruh perubahan waktu pembebanan terhadap nilai parameter reologi mekanistik meliputi Complex.

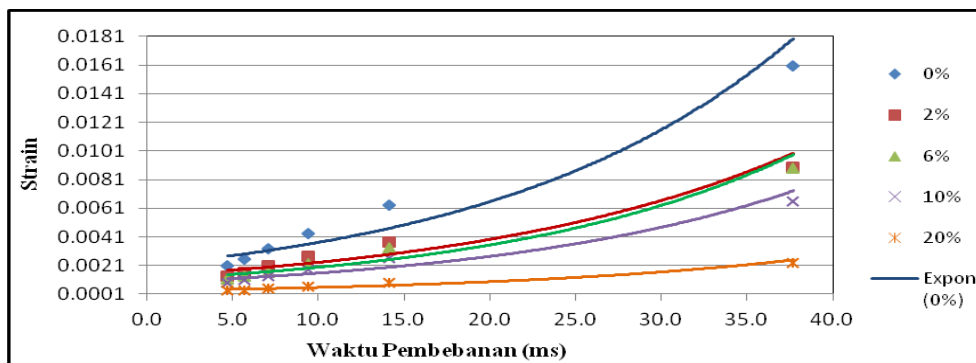
Pada Gambar 1. terlihat dengan jelas bahwa peningkatan besaran waktu pembebanan pada

kadar asbuton yang sama dapat menurunkan nilai G*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan waktu pembebanan pada pengujian aspal pen 80/100 dengan alat DSR akan menurunkan daya tahan material terhadap deformasi ketika terkena tegangan geser secara berulang.

Dari hasil ini dapat diketahui bahwa semakin lama sampel aspal 80/100 dibebani dengan besaran tegangan yang konstan menyebabkan semakin berkurangnya ketahanan sampel aspal tersebut dalam menanggung tegangan yang diaplikasikan pada alat DSR. Hubungan antara Waktu Pembebanan dan Phase Angle secara grafis terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hubungan waktu pembebanan dan *phase angle*



Gambar 4. Hubungan waktu pembebanan dan *strain*

Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat bahwa penambahan waktu pembebanan pada pengujian dengan alat DSR cenderung menyebabkan peningkatan nilai δ pada pengujian sampel dengan kadar Asbuton yang sama. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa peningkatan waktu pembebanan cenderung akan menurunkan elastisitas aspal per 80/100. Semakin lama sampel aspal dibebani dengan tegangan tertentu maka proporsi bagian elastis dari sampel tersebut akan berkurang (nilai δ semakin mendekati 90°). Sebaliknya, proporsi bagian viscous aspal semakin bertambah. Dengan kata lain, elastisitas bitumen 80/100 akan semakin berkurang seiring dengan pertambahan waktu pembebanan.

Berdasarkan data dan grafik hubungan di atas dapat disimpulkan bahwa variabel waktu pembebanan berbanding lurus dengan regangan yang terjadi dimana peningkatan waktu pembebanan menyebabkan peningkatan besaran regangan yang terjadi pada sampel Aspal per 80/100. Hal ini menunjukkan bahwa dengan besaran tegangan dan adar

Asbuton yang sama, sampel aspal yang dibebani dalam waktu yang lebih lama akan memberikan respon regangan yang lebih besar. Peningkatan respon regangan inilah yang menyebabkan semakin berkurangnya ketahanan material untuk menahan deformasi yang terjadi akibat aplikasi tegangan.

Analisis Modulus Kekakuan Bitumen

Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan antara nilai modulus kekakuan bitumen berdasarkan hasil pengujian DSR (E^*) dengan nilai modulus kekakuan bitumen berdasarkan Persamaan Ullidtz (Shell, 2003) yang diturunkan dari nomograf Van Der Poel (Sbit). Modulus Kekakuan Bitumen (E^*) berdasarkan data *Complex Shear Modulus* (G^*) dihitung menggunakan rumus:

$$E^* = 2 G^* (1 + \nu) \tag{1}$$

dimana:

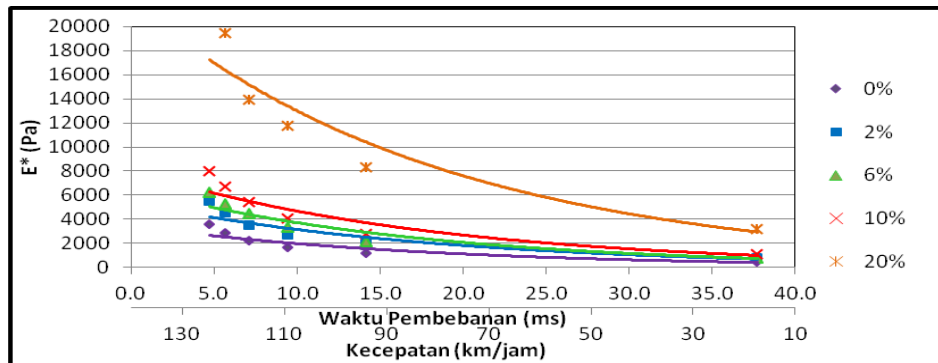
E^* = Modulus Kekakuan Bitumen (Pa)

G^* = *Complex Shear Modulus* (Pa)

ν = *Poisson Ratio* (asumsi $\nu = 0,5$)

Tabel 2. Modulus kekakuan bitumen (E*) berdasarkan pengujian *dynamic shear rheometer* (DSR)

No.	Kadar Asbuton	E* = 2G*(1+ v) (Pa)					
		t1	t2	t3	t4	t5	t6
1	0%	457,2	1156,3	1686,0	2221,5	2894,8	3561,6
2	2%	762,0	1962,4	2683,0	3489,0	4539,0	5492,4
3	6%	822,3	2186,1	3317,4	4503,0	5304,0	6222,0
4	10%	1110,3	2808,5	4068,5	5457,0	6704,0	7973,4
5	20%	3204,0	8337,3	11729,8	13947,0	19492,0	20758,8

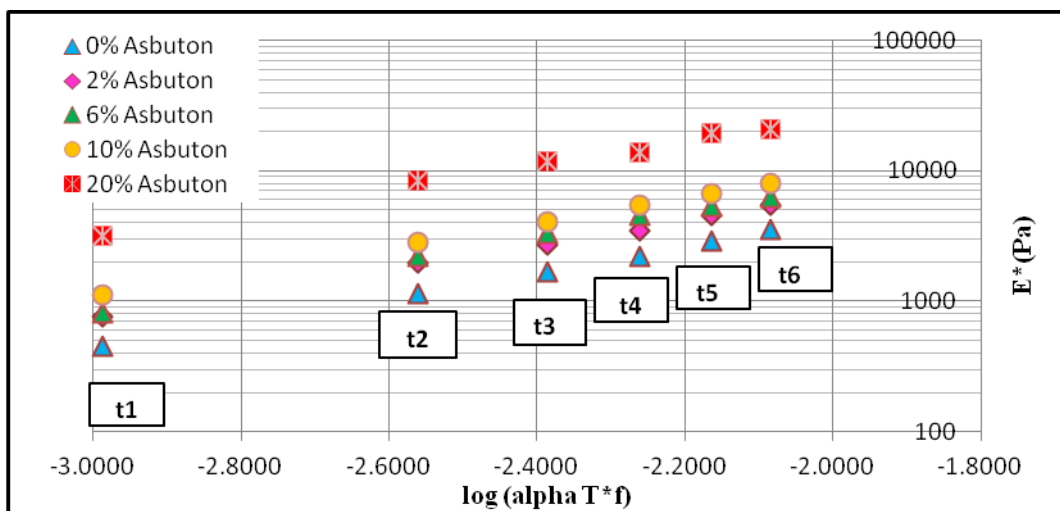


Gambar 5. Hubungan waktu pembebanan dan E*

Berdasarkan tabel dan gambar di atas terlihat bahwa peningkatan nilai modulus kekakuan seiring dengan peningkatan kadar Asbuton pada Aspal Pen 80/100. Hasil ini dapat dijadikan dasar untuk menyimpulkan bahwa peningkatan kadar Asbuton menyebabkan peningkatan modulus kekakuan bitumen tersebut.

Analisis *Master Curve* ini dilakukan bertujuan untuk meninjau hubungan Modulus Kekakuan Bitumen (E*) dan *Shifting Factor* (*Master Curve*). *Master Curve* pada gambar di bawah ini menunjukkan bahwa semakin tinggi waktu pembebanan (semakin kecil frekuensi pembebanan), maka semakin kecil nilai *shifting factor*-nya. Sementara itu, nilai Modulus Kekakuan Bitumen (E*) menurun seiring dengan menurunnya nilai *shifting factor*.

Master curve dan black diagram



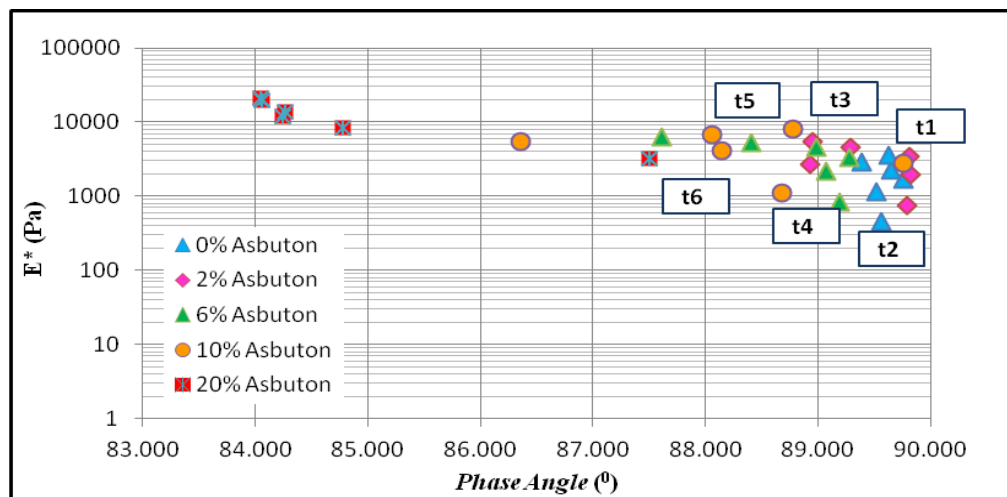
Gambar 6. Master curve pada kadar asbuton murni 0% sampai 20%

Hubungan Kadar Asbuton murni yang ditinjau pada *Master Curve* yaitu seiring dengan penam-

bahan kadar Asbuton dapat mempengaruhi tingkat kepekaan (sensitifitas) aspal terhadap peru-

bahan temperatur dan frekuensi pembebanan. Kemiringan (gradien) *Master Curve* yang semakin tinggi menyebabkan kurva semakin curam seiring dengan penambahan kadar Asbuton murni. Kemiringan kurva yang semakin landai pada *Master Curve* menjelaskan bahwa aspal tersebut kurang peka terhadap perubahan temperatur dan frekuensi pembebanan. *Master curve*

yang landai inilah yang diharapkan agar aspal memiliki rentang temperatur dan frekuensi pembebanan yang lebar sehingga mudah untuk diaplikasikan di lapangan. Analisis *Black Diagram* yang dilakukan pada penelitian ini adalah meninjau hubungan Modulus Kekakuan Bitumen (E^*) dan *Phase Angle*.



Gambar 7. *Black diagram* pada kadar asbuton murni 0% sampai 30%

Dari analisis *Black Diagram* yang disajikan pada gambar-gambar di atas terlihat pengaruh waktu pembebanan terhadap perubahan nilai *phase Angle* yang tidak signifikan namun cenderung menunjukkan penurunan nilai δ seiring penurunan waktu pembebanan. Diagram diatas juga menjelaskan bahwa semakin besar kadar Asbuton murni maka semakin besar nilai Modulus Kekakuan (E^*). Selain itu, penambahan kadar Asbuton murni ini juga mempengaruhi nilai *Phase Angle* (δ). Dimana, semakin besar kadar Asbuton murni maka nilai *Phase Angle* (δ) akan semakin kecil sehingga bitumen akan lebih *durable*.

Rekomendasi Hasil Pengujian

Setelah dilakukan analisis terhadap hasil pengujian baik pengujian sifat reologi dasar maupun pengujian sifat reologi mekanistik, maka dapat ditentukan rekomendasi prosentase kadar Asbuton murni optimum dalam bitumen yang memenuhi persyaratan dan kriteria batasan masing-masing parameter pengujian dan telah dianalisis berdasarkan metode pengujian yang sesuai dengan kondisi perkerasan di Indonesia.

Adapun rekomendasi hasil pengujian adalah sebagai berikut:

a. Pengujian Sifat Reologi Dasar

Pengujian sifat reologi dasar yang dikaji dalam penelitian ini meliputi lima jenis pengujian yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan prosentase kadar Asbuton murni optimum berdasarkan SNI 6749-2008 (persyaratan aspal yang dimodifikasi dengan Asbuton) sebagai berikut:

Nilai Penetrasi

Batasan nilai penetrasi dengan suhu 250C adalah minimal 40 dmm. Prosentase kadar Asbuton murni yang memenuhi persyaratan tersebut yaitu maksimum 20% dengan nilai penetrasi sebesar 42,3 dmm.

Nilai Titik Lembek

Batasan nilai titik melembek berdasarkan spesifikasi adalah minimal 550C. Batas kadar Asbuton murni yang memenuhi persyaratan tersebut adalah minimum 10% dengan titik melembek sebesar 55,250C.

Nilai Daktilitas

Batasan nilai Daktilitas menurut spesifikasi adalah minimal 50 cm. Dengan batasan tersebut, variasi kadar Asbuton murni yang

memenuhi persyaratan tersebut adalah maksimum 20% dengan nilai daktilitas rata-rata sebesar 60,5 cm

Nilai Elastic Recovery

Karena batasan parameter Elastic Recovery tidak ditentukan dalam spesifikasi aspal yang dimodifikasi dengan Asbuton, maka seluruh variasi kadar Asbuton yang elastisitasnya dapat diuji dianggap memenuhi persyaratan pengujian.

Nilai Viskositas

Batasan nilai Viskositas yang diambil berdasarkan AMP (Asphalt Mixing Plant) yaitu pada suhu maksimum 180°C karena jika lebih akan mempengaruhi workability disaat pencampuran aspal dilapangan. Nilai viskositas dengan alat Saybolt Furol yang memenuhi persyaratan batas suhu maksimum 180°C yaitu pada prosentase kadar Asbuton murni 0% sampai 20%.

b. Pengujian Sifat Reologi Mekanistik

Pengujian sifat reologi mekanistik dilakukan untuk menentukan batasan kriteria modulus kekakuan bitumen. Kriteria batasan Modulus Kekakuan Bitumen yang digunakan adalah sama atau lebih besar dari 5 MPa pada suhu 25°C. Batasan tersebut merupakan batasan dimana pengaruh bitumen terhadap penentuan modulus kekakuan campuran beraspal adalah kecil. Berdasarkan batasan tersebut, seluruh variasi kadar Asbuton murni memiliki nilai Modulus Kekakuan Bitumen lebih besar dari 5 Mpa untuk perhitungan modulus kekakuan bitumen dengan metode Ullidtz yaitu minimum sebesar 7.92 Mpa.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

a. Penambahan kadar Asbuton murni pada Aspal pen 80/100 menyebabkan penurunan nilai penetrasi hingga 42,3 dmm, peningkatan suhu titik melembek hingga 60°C, penurunan elastisitas bitumen hingga 6 %, penurunan nilai daktilitas hingga 60,5 cm, serta peningkatan suhu pencampuran menjadi 172°C dan suhu pemadatan menjadi 160°C. Dari analisis sifat reologi mekanistik dapat disimpulkan bahwa campuran Asbuton murni dan aspal Pen 80/100 mengalami peningkatan nilai G^* , penurunan nilai δ , serta penurunan nilai regangan seiring dengan penambahan prosentase kadar Asbuton.

b. Peningkatan waktu pembebanan menyebabkan penurunan nilai G^* , peningkatan nilai *phase angle*, dan peningkatan nilai regangan. Jika hasil ini dikaitkan dengan kecepatan kendaraan dan frekuensi pembebanan yang berbanding terbalik dengan waktu pembebanan, maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan kecepatan kendaraan dan bertambahnya frekuensi pembebanan kendaraan akan menyebabkan peningkatan nilai G^* , penurunan nilai *Phase Angle*, dan penurunan nilai regangan pada sampel.

c. Hubungan waktu pembebanan dan E^* adalah berbanding terbalik dimana peningkatan waktu pembebanan menyebabkan penurunan modulus kekakuan bitumen. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan waktu pembebanan pada pengujian aspal pen 80/100 dengan alat DSR akan menurunkan modulus kekakuan bitumen.

d. Dalam kajian kriteria kerusakan Permanent Deformation baik pada kondisi original maupun pada kondisi setelah RTFOT dapat disimpulkan bahwa semakin kecil waktu pembebanan maka semakin kuat bitumen tersebut dalam menahan kerusakan Permanent Deformation. Sedangkan, dalam kajian kriteria kerusakan *fatigue cracking* dapat disimpulkan bahwa seluruh kombinasi waktu pembebanan memenuhi persyaratan jika dilakukan tinjauan ketahanan material terhadap *fatigue cracking*.

e. Secara umum, penelitian ini merekomendasikan penggunaan material Aspal Pen 80/100 dengan penambahan Asbuton murni dengan proporsi tertentu tergantung pada kecepatan kendaraan yang dominan digunakan pada suatu lokasi. Untuk lokasi yang sering dibebani dengan kisaran kecepatan yang lebih rendah (<60 km/jam) menuntut penggunaan Aspal pen 80/100 dengan penambahan kadar Asbuton Murni yang lebih tinggi. Sementara untuk lokasi dengan kisaran kecepatan tinggi (>60 km/jam) membutuhkan Aspal pen 80/100 dengan penambahan kadar Asbuton Murni yang lebih rendah.

Saran

a. Pada pengujian reologi mekanistik, perlu dikaji pengaruh variasi waktu pembebanan pada suhu lain selain suhu 64°C agar dapat diperoleh model hubungan sifat reologi mekanistik dengan waktu pembebanan dan suhu sebagai variabel bebasnya.

- b. Perlu dilakukan penelitian yang merangkum perbandingan hasil pencampuran Aspal pen 80/100 dan Asbuton Murni dengan hasil pencampuran Aspal pen 60/70 dan Asbuton Murni serta kinerja campuran yang dihasilkan dari kedua jenis campuran tersebut sehingga dapat diperoleh hasil penelitian yang lebih kompleks dan akurat.
- c. Melakukan proses pencampuran aspal Pen dengan Asbuton murni dengan metode yang lebih baik, sehingga dihasilkan campuran bitumen yang lebih homogen.
- d. Percobaan *laboratorium* untuk menentukan nilai Modulus Resilien Campuran beraspal dengan material Aspal pen 80/100 dan Asbuton Murni perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute. (1997). *Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing*. Series No.1. USA.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (2006). *Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Pemanfaatan Asbuton, Departemen Pekerjaan Umum, Republik Indonesia, 001-01*.
- Vader, H.Wyss. (2009). *Introduction to Rheology. Weitzlab group meeting tutorial. weitzlab.seas.harvard.edu/links/tutorials/introductiontorheology2*
- Francken, L. (1998). *Bituminous Binders and Mixes; State of The Art and Interlaboratory Test on Mechanical Behaviour and Mix Design*, Routledge, New York, NY 100001, 52-55
- Huang, Y.H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 280-299, 301-304.
- Indriyati, Eva W., (2012). *Jurnal, Kajian Perbaikan Sifat Reologi Visco-Elastic Aspal dengan Penambahan Asbuton Murni Menggunakan Parameter Complex Shear Modulus*, Intitut Teknologi Bandung, 1-14.
- Krebs, R. dan Walker, R. (1971). *Highway Material*. McGraw-Hill, New York.
- Mezger, T.G. (2002). *The Rheology Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover Germany, 75-83
- Munthe, L. (2008). *Jalan Urat Nadi Perekonomian*, Majalah Kiprah Vol. 29 Tahun VII, 12-31
- Rahman, H. (2010). *Laporan Desertasi, Evaluasi Model Modulus Bitumen Asbuton Dan Model Modulus Campuran Yang Mengandung Bitumen Asbuton*, Institut Teknologi Bandung.
- Ramdhani, F. (2013). *Evaluasi Reologi Campuran Aspal Pen 80/100 Dan Bahan Modifikasi Asbuton Ekstraksi Penuh Sebagai Dasar Penentuan Kadar Bahan Modifikasi Optimum*, Institut Teknologi Bandung.
- Read J. (2003). *The Shell Bitumen Handbook*. Thomas Telford Publishing, London, 7.
- Superpave Update For NJDOT/NEAUPG Mechanistic. (2003). *Performance Graded (PG) Asphalts. Pavement Design Seminar. Princeton, NJ. Feb. 25, 2003.*