

UJI PERBANDINGAN KUALITAS HOTMIX DENGAN ASPAL HASIL SUMUR MINYAK TUA SECARA KONVENSIIONAL DENGAN ASPAL PERTAMINA PENETRASI 60/70

Muhammad Rizaldi Kresna Raharja, Fernando Asali, Supriyono ^{*)}, Bagus Hario Setiadji ^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.:
(024)7460060

ABSTRAK

Pada tugas akhir ini, penelitian aspal diambil mengenai perbandingan kualitas Hotmix aspal dengan sample aspal minyak tua yang diolah secara konvensional dari daerah Kabupaten Grobogan dan aspal Pertamina penetrasi 60/70. Pedoman utama dalam penelitian aspal ini adalah berdasarkan SNI 8135 : 2015 dan RSNi M-01-2003. Dari hasil penelitian diperoleh aspal Pertamina penetrasi 60/70 memiliki nilai penetrasi 71, titik lembek aspal 52 °C, titik nyala dan titik bakar 286 °C, daktilitas 110 cm, kelarutan aspal dengan CCL₄ 99,33%, dan berat jenis bitumen 1,043 gr/cc, sedangkan aspal sumur minyak tua memiliki nilai penetrasi 390, titik lembek aspal 36 °C, titik nyala dan titik bakar 51 °C, daktilitas 0 cm, kelarutan aspal dengan CCL₄ 92,67%, dan berat jenis bitumen 1,0177 gr/cc. Sehingga aspal Pertamina penetrasi 60/70 memenuhi syarat aspal penetrasi 60/70, sedangkan aspal sumur minyak tua tidak masuk ke dalam standart spesifikasi aspal penetrasi 200/300. Nilai penetrasi yang tinggi, nilai daktilitas yang rendah, dan nilai kelarutan aspal dengan CCL₄ yang rendah dipengaruhi oleh prosentase senyawa C₁₁H₁₂D₆O yang rendah, sehingga untuk meningkatkan kekakuan aspal sumur minyak tua perlu dilakukan penambahan prosentase senyawa C₁₁H₁₂D₆O. Nilai Kalium pada aspal sumur minyak tua yang rendah mengakibatkan titik lembek aspal rendah, sehingga aspal sumur minyak tua perlu ditambahkan Kalium untuk meningkatkan nilai titik lembek. Nilai titik nyala dan titik bakar aspal sumur minyak tua yang rendah dipengaruhi oleh banyaknya senyawa pengotor yang mudah terbakar seperti oksigen, parafin, dan minyak, maka perlu dilakukan pemisahan kandungan senyawa pengotor pada aspal sumur minyak tua. Pada pengujian Marshall, dengan menggunakan agregat halus dan agregat kasar sama yang memenuhi syarat berat jenis agregat, penyerapan agregat, abrasi agregat, dan Impact Test diperoleh kadar aspal optimum untuk aspal Pertamina penetrasi 60/70 sebesar 5,7%, sedangkan aspal sumur minyak tua tidak ditemukan kadar aspal optimumnya. Oleh karena itu, aspal sumur minyak tua lebih cocok untuk lapis pondasi jika dilakukan penambahan nilai prosentase senyawa C₁₁H₁₂D₆O, sehingga nilai penetrasinya maksimal 200.

Kata kunci: Aspal sumur minyak tua, Aspal penetrasi 60/70, Campuran aspal panas.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

ABSTRACT

On this final paper, Asphalt Research is taken about Comparison of Asphalt Hotmix Quality with sample of old oil-well bitumen that is treated conventionally from the Grobogan area and Pertamina bitumen penetration 60/70. The main guideline in this asphalt study is based on SNI 8135: 2015 and RSNI M-01-2003. Based on research result, Pertamina bitumen penetration 60/70 gains penetration value at 71, bitumen softening point at 52°C, flash point and burning point at 286°C, ductility at 110 cm, bitumen solubility by CCL₄ at 99,33% and bitumen specific gravity at 1,043 gr/cc, whereas old oil-well bitumen gains penetration value at 390, bitumen softening point at 36°C, flash point and burning point at 51°C, ductility at 0 cm, bitumen solubility by CCL₄ at 92,67% and bitumen specific gravity at 1,0177 gr/cc. So Pertamina bitumen penetration 60/70 fullfill in specification standard of bitumen of penetration 60/70, whereas old oil-well bitumen does not fullfill in specification standard of bitumen of penetration 200/300. High penetration value, low ductility value, and low bitumen solubility by CCL₄ are affected by low compound percentage of C₁₁H₁₂D₆O, so for increasing stiffness of old oil-well bitumen needs to add compound percentage of C₁₁H₁₂D₆O. Low Kalium value in old oil-well bitumen influence low bitumen softening point, so old oil-well bitumen nedds to add Kalium to increase softening point value. Low Flash point and low burning point of old oil-well bitumen are influenced by a lot of flammable impurity compounds such as oxygen, paraffin and oil, so it needs to separate contents of impurity compounds in old oil-well bitumen. On Marshall testing, by using same fine aggregate and same coarse aggregate which fullfill specification of aggregate density, aggregate absorption, aggregate abrasion and Impact test are obtained optimum bitumen contents for Pertamina bitumen penetration 60/70 as 5,7%, whereas old oil-well bitumen is not found it's optimum bitumen contents. Therefore, old oil-well bitumen is more suitable for foundation layers if it is increased percentage value of C₁₁H₁₂D₆O compound so it's penetration value is maximum 200.

Keywords: *Old oil-well bitumen, Bitumen of penetration 60/70, Hotmix mixture.*

PENDAHULUAN

Di daerah Kabupaten Grobogan Kecamatan Gabus terdapat sumur minyak tua peninggalan Belanda. Sumur minyak tua tersebut dikelola oleh masyarakat sekitar sehingga menghasilkan minyak mentah. Dari minyak mentah tersebut dilakukan proses destilasi dengan cara konvensional sehingga menghasilkan solar dan aspal. Sedangkan masyarakat tidak dapat mengolah hasil aspal dari sumur minyak tua tersebut. Oleh karena itu, aspal tersebut dianggap sebagai ampas dan tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal. Penulisan tugas akhir ini bermaksud untuk membandingkan kualitas aspal yang dihasilkan oleh sumur minyak tua yang diolah secara konvensional dengan aspal Pertamina penetrasi 60/70 dan bertujuan untuk mengetahui sifat bahan dan kandungan unsur kimia yang terdapat pada aspal yang dihasilkan oleh sumur minyak tua yang diolah secara konvensional dan aspal Pertamina penetrasi 60/70, mengetahui kekurangan yang ada pada aspal yang dihasilkan oleh sumur minyak tua yang diolah secara konvensional sebagai bahan hotmix, dan menemukan solusi untuk meningkatkan kualitas dan ketahanan aspal yang dihasilkan oleh sumur minyak tua yang diolah secara konvensional sebagai bahan hotmix.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kualitas hotmix dengan aspal hasil sumur minyak tua secara konvensional dengan aspal Pertamina penetrasi 60/70. Tahap awal yang

dilakukan di laboratorium adalah pengujian bahan material perkerasan. Pengujian yang dilakukan pada material agregat kasar meliputi analisis saringan, kelekatan terhadap aspal, berat jenis dan penyerapan. Pengujian yang dilakukan pada material agregat halus meliputi berat jenis dan kadar air. Pengujian yang dilakukan pada aspal meliputi penetrasi, titik lembek, titik nyala, daktilitas, berat jenis, kelarutan dalam CCl₄, dan pengujian unsur-unsur kimia aspal seperti: FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), GCMS (*Gas Chromatography Mass Spektroskopi*), ICP (*Inductively Coupled Plasma*), dan Sulfida.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan ini terdapat pengujian fisik aspal, pengujian fisik terhadap kimia pada aspal, pengujian agregat kasar, pengujian agregat halus, dan pengujian Marshall yang hasilnya disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Fisik Aspal

No	Pemeriksaan	Spesifikasi	Syarat Pen 200/300	Syarat Pen 60/70	Satuan	Hasil	
						Aspal Sumur Minyak	Aspal Pertamina
1	Penetrasi Bahan Bitumen	SNI 8135 : 2015	200-300	60 -79	0,1 mm	390	71
2	Titik Lembek Aspal	SNI 8135 : 2015	-	48 - 58	⁰ C	36	52
3	Titik Nyala dan Titik Bakar	SNI 8135 : 2015	≥ 177	≥ 200	⁰ C	51	286
4	Daktilitas	SNI 8135 : 2015	-	≥ 100	cm	0	110
5	Kelarutan Aspal dengan CCL ₄	SNI 8135 : 2015	99	99	%	92,67	99,33
6	Berat Jenis Bitumen	SNI 8135 : 2015	-	≥1	gr/cc	1,0177	1,043

Dari pemeriksaan aspal yang dilakukan, aspal Pertamina penetrasi 60/70 memenuhi syarat pemeriksaan untuk aspal penetrasi 60/70 berdasarkan spesifikasi SNI 8135 : 2015. Sedangkan aspal sumur minyak tua tidak memenuhi syarat pengujian untuk aspal penetrasi 200/300 berdasarkan spesifikasi SNI 8135 : 2015, sehingga aspal ini tergolong aspal penetrasi diatas 300.

Tabel 2. Kesimpulan Pemeriksaan Fisik Terhadap Faktor Kimia Pada Aspal

No	Pemeriksaan	Jenis Aspal		Keterangan
		Aspal Sumur Minyak Tua	Aspal Pertamina	
1	Penetrasi Bitumen	Memiliki struktur atom C (carbon) sebesar 12,53205 %w sehingga memiliki nilai penetrasi bitumen rata-rata 113,7.	Memiliki struktur atom C (carbon) sebesar 74,63566 %w sehingga aspal Pertamina memiliki penetrasi bitumen rata-rata 71.	Aspal sumur minyak tua memiliki tingkat kekerasan yang lebih rendah (lebih lunak) dari aspal Pertamina karena semakin kecil komposisi %w struktur atom C (carbon) maka angka penetrasi aspal semakin besar.

Tabel 2. Kesimpulan Pemeriksaan Fisik Terhadap Faktor Kimia Pada Aspal (lanjutan)

No	Pemeriksaan	Jenis Aspal		Keterangan
		Aspal Sumur Minyak Tua	Aspal Pertamina	
2	Titik Lembek	Memiliki nilai atom K (kalium) sebesar 21,63 ppm dan atom Na (natrium) sebesar 2,848, sehingga memiliki titik lembek pada suhu 36°C.	Memiliki nilai atom K (kalium) sebesar 45,68 ppm dan atom Na (natrium) sebesar 3,316, sehingga memiliki titik lembek pada suhu 52°C.	Aspal sumur minyak tua memiliki ppm atom K dan ppm atom Na yang lebih rendah dari aspal Pertamina sehingga aspal sumur minyak tua memiliki suhu titik lembek yang lebih rendah dari aspal Pertamina.
3	Titik Nyala dan Titik Bakar	Memiliki kandungan oksigen 1,561379 %w sehingga memiliki titik nyala pada suhu 51°C.	Memiliki kandungan oksigen 0,642759 %w sehingga memiliki titik nyala pada suhu 286°C.	Aspal sumur minyak tua memiliki kandungan oksigen yang lebih banyak dari aspal Pertamina sehingga memiliki titik nyala yang lebih rendah dari aspal Pertamina.
4	Daktilitas	Memiliki ikatan C (carbon) pada $C_{11}H_{12}D_6O$ sebesar 12,53205 %w sehingga tidak dapat dilakukan pemeriksaan daktilitas atau nilai daktilitas 0 cm.	Memiliki ikatan C (carbon) pada $C_{11}H_{12}D_6O$ sebesar 74,63566 %w sehingga nilai daktilitas lebih dari 110 cm.	Aspal sumur minyak tua memiliki %w ikatan C pada senyawa $C_{11}H_{12}D_6O$ yang lebih rendah dari aspal Pertamina karena semakin kecil komposisi ikatan $C_{11}H_{12}D_6O$ semakin kecil ikatan kohesi yang terjadi sehingga memiliki daktilitas yang lebih rendah.
5	Kelarutan Aspal dengan CCL4	Memiliki senyawa $C_{11}H_{12}D_6O$ sebesar 15,76 % + senyawa polar lainnya (selain C_6H_6 sebesar 3,15 %) sehingga nilai kelarutan aspal dengan CCL4 sebesar 92,835%.	Memiliki senyawa $C_{11}H_{12}D_6O$ sebesar 93,86 % + senyawa polar lainnya (selain C_6H_6 sebesar 0,31 %) sehingga nilai kelarutan aspal dengan CCL4 sebesar 99,33%.	Aspal sumur minyak tua memiliki ikatan senyawa $C_{11}H_{12}D_6O$ + senyawa polar lainnya yang lebih kecil sebesar 96,85 % (Selain C_6H_6) dari aspal Pertamina sebesar 99,69 % (Selain C_6H_6) sehingga aspal sumur minyak tua memiliki nilai kelarutan aspal dengan CCL4 lebih kecil.
6	Berat Jenis Bitumen	Memiliki berat jenis sebesar 1,0177 gr/cc.	Memiliki berat jenis sebesar 1,043 gr/cc.	Aspal sumur minyak tua memiliki berat jenis lebih kecil dari aspal Pertamina karena memiliki komposisi berat atom dan senyawa yang kecil.

Tabel 2. Kesimpulan Pemeriksaan Fisik Terhadap Faktor Kimia Pada Aspal (lanjutan)

No	Pemeriksaan	Jenis Aspal		Keterangan
		Aspal Sumur Minyak Tua	Aspal Pertamina	
7	Tes Marshall	Memiliki jumlah ikatan senyawa sebanyak 57 sehingga memiliki adhesi yang rendah karena masih memiliki banyak ikatan senyawa pada aspal.	Memiliki jumlah ikatan senyawa sebanyak 8 sehingga memiliki adhesi yang tinggi karena ikatan senyawa pada aspal lebih sederhana.	Aspal sumur minyak tua memiliki jumlah ikatan senyawa yang lebih banyak dibanding aspal Pertamina sehingga ikatan adhesinya lebih rendah. Hal tersebut menyebabkan aspal Pertamina memiliki ikatan yang lebih kuat terhadap agregat dibanding aspal sumur minyak tua, sehingga memiliki marshall yang lebih baik.

Untuk meningkatkan kualitas aspal sumur minyak tua, maka perlu dilakukan:

- Penambahan prosentase senyawa $C_{11}H_{12}D_6O$ agar menambah kekakuan aspal sehingga menurunkan nilai hasil penetrasi, menambah nilai daktilitas, dan meningkatkan nilai kelarutan aspal dalam CCL_4 . Penambahan $C_{11}H_{12}D_6O$ dilakukan dengan pemisahan struktur senyawa tersebut menggunakan suhu yang tinggi pada percobaan GCMS sehingga dapat dikelompokkan masing-masing kategori senyawanya. Selain itu, senyawa $C_{11}H_{12}D_6O$ juga dapat diperoleh dengan melakukan destilasi tradisional secara berulang-ulang.
- Pemisahan kandungan senyawa pengotor pada aspal sumur minyak tua selain senyawa $C_{11}H_{12}D_6O$, C_6H_{14} , C_6H_6 , $C_6H_{14}O$, $C_6H_{12}O_2$, dan C_7H_8 seperti minyak dan parafin dengan cara melakukan destilasi menggunakan teknologi yang lebih tinggi untuk meningkatkan nilai titik bakar dan titik nyala aspal sumur minyak tua.
- Penambahan Kalium untuk meningkatkan titik lembek aspal sehingga aspal tidak mudah leleh pada suhu yang rendah. Penambahan Kalium dapat dilakukan dengan menggunakan metode ICP.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Pemeriksaan	Spesifikasi	Syarat	Hasil	
				Agregat lolos 3/4"	Agregat lolos 1/2"
1	Berat Jenis Agregat Kasar	SNI 03-1737-1989	$\geq 2,5$	2,798	2,844
2	Penyerapan Agregat Kasar	SNI 03-1737-1989	$\leq 3\%$	0,69%	1,33%
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI 03-2439-1991	$\geq 95\%$	Aspal Sumur	
				Minyak	90,33 %
				Aspal Pertamina	96%
4	Abrasi Agregat	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$	18,23%	
5	Impact Test	PBI 1971	$\leq 30\%$	13,70%	14,46%

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Halus

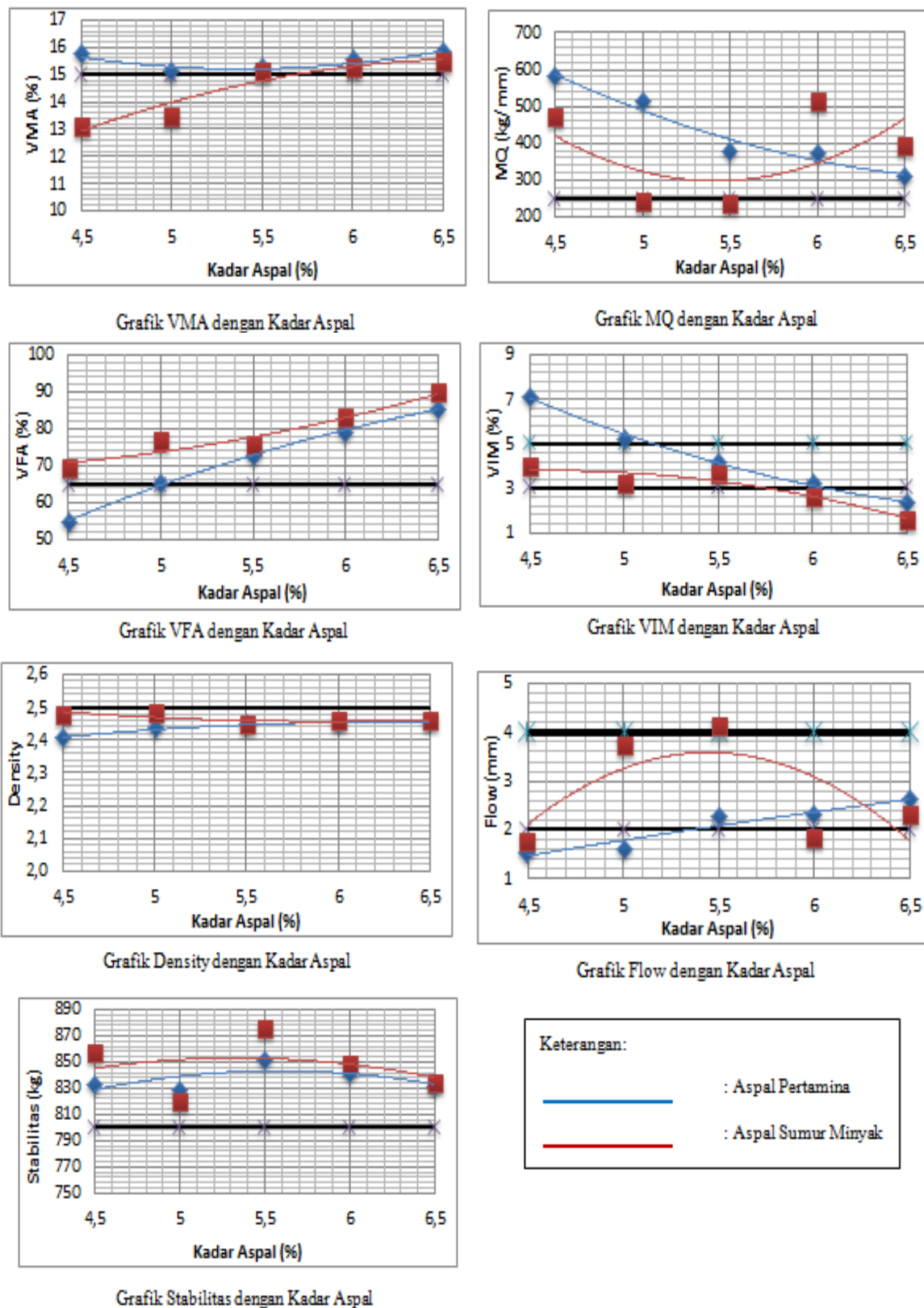
No	Pemeriksaan	Spesifikasi	Syarat	Hasil	
				Abu Batu	Pasir
1	Berat Jenis Agregat Halus	SNI 03-1737-1989	$\geq 2,5\%$	2,859%	2,909%
2	Penyerapan Agregat Halus	SNI 03-1737-1989	$\leq 3\%$	2,291%	2,438%

Berdasarkan hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus pada Tabel 3 dan Tabel 4, maka agregat yang berasal dari Kali Kutho untuk agregat kasar memenuhi standar pemeriksaan berat jenis agregat, penyerapan agregat terhadap air, abrasi agregat, dan *Impact Test*. Sedangkan untuk pengujian kelekatan agregat terhadap aspal, hanya aspal Pertamina saja yang masuk persyaratan. Untuk agregat halus yang berasal dari Muntilan memenuhi standart pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus.

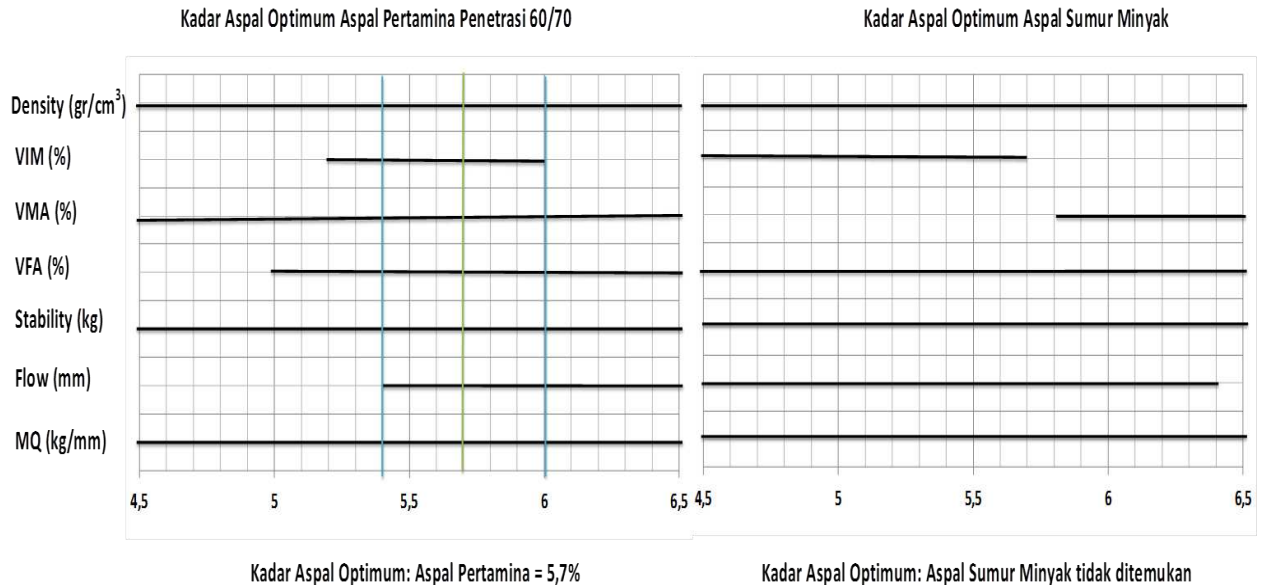
Tabel 5. Data Hasil Pengujian Marshall

Sifat Campuran Aspal	Syarat	Aspal Sumur Minyak Tua	Aspal Pertamina Penetrasi 60/70
Kadar Rongga Udara/ Void In Mix (VIM)	3-5%	1,56 – 3,98 %	2,3 – 7,14 %
Stabilitas Marshall	min 800 kg	820,39 – 875,52 kg	827,75 – 851,82 kg
Kelelehan (Flow)	2-4mm	1,79 - 4,16 mm	1,53 – 2,62 mm
BJ bulk	max 2,5	2,45 -2,48	2,42 - 2,46
Ruang Terisi Aspal/ Void Filled with Asphalt (VFA)	min 65	69,64 – 89,99	54,62 – 85,45
Rongga Dalam Mineral Agregat/ Void In Mineral Aggregate (VMA)	min 15	13,1 – 15,5	15,09 – 15,81
Hasil Bagi Marshall/ Marshall Quotient (MQ)	min 250 kg/mm	235,85 – 561,21 kg/mm	311,89 – 580,40 kg/mm

Aspal sumur minyak tua lebih dapat mengisi ruang pada campuran yang menyebabkan nilai VFA aspal sumur minyak tua lebih tinggi dari aspal Pertamina penetrasi 60/70. Nilai VFA pada campuran aspal sumur minyak tua yang tinggi mengakibatkan nilai VIM menjadi rendah karena rongga udara pada campuran lebih terisi oleh aspal. Nilai VMA pada campuran aspal sumur minyak tua lebih rendah dari campuran aspal Pertamina penetrasi 60/70 karena aspal sumur minyak tua memiliki lebih banyak senyawa sehingga dapat mengisi rongga pada agregat. Nilai stabilitas Marshall pada campuran beraspal dengan aspal sumur minyak tua lebih tinggi dibandingkan dengan campuran beraspal dengan aspal Pertamina penetrasi 60/70, sedangkan nilai flow pada campuran beraspal dengan aspal sumur minyak tua juga lebih tinggi dibandingkan campuran beraspal dengan aspal Pertamina penetrasi 60/70. Hal ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas Marshall pada campuran beraspal dengan aspal sumur minyak tua lebih dipengaruhi oleh gradasi agregat yang rapat. Karena nilai flow campuran beraspal dengan aspal sumur minyak tua yang tinggi, mengakibatkan nilai MQ aspal sumur minyak tua lebih rendah dari aspal Pertamina penetrasi 60/70. Sehingga aspal sumur minyak tua memberikan kelenturan yang lebih tinggi terhadap beban pada besaran beban yang relatif sama dibanding aspal Pertamina penetrasi 60/70. Penggunaan aspal sumur minyak tua lebih tahan terhadap retak pada struktur jalan tetapi tidak dapat menerima beban yang tinggi.



Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian Marshall Aspal Sumur Minyak dengan Aspal Pertamina



Gambar 2. Diagram Pemilihan Kadar Aspal Optimum Aspal Pertamina Penetrasi 60/70 dan Aspal Sumur Minyak

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian, antara lain sebagai berikut:

1. Dari hasil pemeriksaan fisik aspal dapat diketahui bahwa aspal Pertamina penetrasi 60/70 memiliki sifat yang keras dan tidak mudah terbakar, sedangkan aspal sumur minyak tua memiliki sifat yang lembek dan mudah terbakar. Sehingga kualitas aspal Pertamina lebih baik dibandingkan aspal sumur minyak tua. Aspal Pertamina penetrasi 60/70 memenuhi syarat aspal penetrasi 60/70, sedangkan aspal sumur minyak tua tidak masuk ke dalam standart spesifikasi aspal penetrasi 200/300.
2. Dari pengujian kimia yang dilakukan, aspal sumur minyak tua memiliki kualitas yang lebih rendah dari aspal Pertamina penetrasi 60/70. Hal tersebut disebabkan oleh:
 - a) Ikatan senyawa $C_{11}H_{12}D_6O$ dan % w atom C pada aspal sumur minyak tua lebih sedikit dari aspal Pertamina penetrasi 60/70 sehingga berpengaruh terhadap kelarutan aspal yang rendah, angka penetrasi yang tinggi dan daktilitas yang rendah.
 - b) Nilai atom K (kalium) aspal sumur minyak tua lebih rendah dari aspal Pertamina penetrasi 60/70 sehingga berpengaruh terhadap titik lembek aspal sumur minyak yang kecil.
 - c) Kandungan oksigen pada aspal sumur minyak tua lebih besar dari kandungan oksigen pada aspal Pertamina penetrasi 60/70 sehingga menyebabkan aspal sumur minyak tua memiliki titik nyala dan titik bakar yang rendah.
3. Aspal sumur minyak tua memiliki tingkat kelelahan yang tinggi sehingga jika diterapkan untuk penggunaan struktur perkerasan jalan maka memiliki sifat lebih fleksibel jika dibanding aspal Pertamina dan tidak dapat menahan beban yang berat. Pemilihan agregat yang baik sangat berpengaruh pada pengujian Marhsall yang dapat meningkatkan kualitas hasil uji campuran dengan menggunakan aspal sumur minyak tua. Sehingga aspal sumur minyak tua tidak sesuai digunakan pada campuran beraspal Laston / Asphalt Concrete (AC).
4. Untuk meningkatkan kualitas aspal sumur minyak tua, maka perlu dilakukan:
 - a) Penambahan prosentase senyawa $C_{11}H_{12}D_6O$ agar menambah kekakuan aspal sehingga menurunkan nilai hasil penetrasi, menambah nilai daktilitas, dan meningkatkan nilai kelarutan aspal dalam CCL_4 .

- b) Pemisahan kandungan senyawa pengotor pada aspal sumur minyak seperti minyak dan parafin dengan cara melakukan destilasi menggunakan teknologi yang lebih tinggi untuk meningkatkan nilai titik bakar dan titik nyala aspal sumur minyak tua.
 - c) Penambahan Kalium untuk meningkatkan titik lembek aspal sehingga aspal tidak mudah leleh pada suhu yang rendah. Penambahan Kalium dapat dilakukan dengan menggunakan metode ICP (*Inductively Coupled Plasma*).
5. Berdasarkan harga aspal sumur minyak tua Rp 3.750.000,- / ton dan aspal Pertamina Rp 5.806.452,- / ton, maka aspal sumur minyak tua lebih ekonomis dibandingkan aspal Pertamina penetrasi 60/70.
 6. Aspal sumur minyak tua lebih cocok untuk lapis pondasi jika dilakukan penambahan nilai prosentase senyawa $C_{11}H_{12}D_6O$, sehingga nilai penetrasinya maksimal 200.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2015. *Spesifikasi Aspal Keras berdasarkan Kelas Penetrasi dari SNI 8135:2015*. Jakarta.
- Budzikiewicz, Herbert., Djerassi, Carl and Williams, D H. 1964. *Structure Elucidation of Natural Products by Mass Spectrometry*. San Fransisco : Holden-Day Inc.
- Read, John and Whiteoak, David. 2003. *Shell Bitumen Handbook Fifth Edition*. London : The University Press, Cambridge.
- Sastrohamidjojo, Hardjono. 1992. *Spektroskopi Inframerah*. Penerbit Liberty Yogyakarta
- Skoog, Douglas A., Holler, F J and Crouch, Stanley R. 1998. *Principle of Instrumental Analysis*. Orlando : Harcourt Brace College Publishers.
- Soehartono. 2014. *Buku Teknologi Aspal dan Penggunaannya*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Sukirman, Silvia. 2007. *Beton Aspal Campuran Panas*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Svehla, G. 1985. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro*. Jakarta : PT Kalman Media Pusaka.
- Yen, Teh Fu and Chilingarian, George V. 2000. *Asphaltenes and Asphalt 2*. Amsterdam : Elsevier Science.