

PERANCANGAN LABORATORIUM PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC) DENGAN MENGGUNAKAN ASPAL PEN 60/70 DAN ZEOLIT ALAM SEBAGAI *FILLER*

Alfian Saleh¹ dan Latif Budi Suparma²

¹ Jurusan Teknik Sipil, Univ. Lancang Kuning

² Jurusan Teknik Sipil, Univ. Gadjah Mada
alfian.saleh@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki kekayaan sumber alam yang tinggi, termasuk sumber mineral yang menjadi bahan baku perkerasan jalan. Pemanfaatan sumber alam berupa bahan baku perkerasan jalan masih belum banyak dikembangkan, terlebih kaitannya untuk mengatasi permasalahan kerusakan dini pada perkerasan jalan. Aspal Pen. 60/70 dan zeolit alam merupakan salah satu kekayaan alam yang bisa digunakan, namun penelitian terkait kedua bahan tersebut masih belum banyak dilakukan. Penggabungan kedua bahan dalam pengujian dilakukan dengan perancangan benda uji menggunakan 5 variasi kadar *filler*, yaitu variasi 1 (100% debu batu : 0% zeolit alam), variasi 2 (75% debu batu : 25% zeolit alam), variasi 3 (50% debu batu : 50% zeolit alam), variasi 4 (25% debu batu : 75% zeolit alam) dan variasi 5 (0% debu batu : 100% zeolit alam). Setelah diperoleh kadar aspal optimum setiap variasi kemudian dilakukan pengujian *Marshall* dengan lama perendaman 0,5 jam dan 24 jam, kemudian pengujian *Indirect Tensile Strength*. Hasil penelitian diperoleh kadar aspal optimum untuk variasi 1 sebesar 5,8%, variasi 2 sebesar 6,0%, variasi 3 sebesar 6,1%, variasi 4 sebesar 6,4% dan variasi 5 sebesar 6,5%. Nilai VMA, VITM, VFWA, stabilitas, *flow*, MQ, indeks stabilitas *Marshall* sisa dan rasio kuat tarik secara berurutan untuk variasi 1 sebesar 16,04%; 4,53%; 69,56,82%; 1229,05 kg; 3,80%; 323,43 kg/mm; 94,46%; 74,87%, variasi 2 sebesar 14,69%; 4,74%; 68,02%; 1348,40 kg; 4,27%; 316,03 kg/mm; 92,06%; 79,92%, variasi 3 sebesar 16,14%; 4,41%; 69,69%; 1364,69 kg; 3,93%; 346,95 kg/mm; 89,64%; 72,75%, variasi 4 sebesar 16,89%; 4,82%; 69,31%; 1304,30 kg; 4,03%; 326,07 kg/mm; 88,04%; 68,82% dan variasi 5 sebesar 16,42%; 5,18%; 64,55%; 1248,64 kg; 4,5%; 277,48 kg/mm; 86,78%; 66,22%. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa campuran AC-BC yang menggunakan zeolit alam pada variasi 2 (75% debu batu + 25% zeolit alam) dan variasi 3 (50% debu batu + 50% zeolit alam) merupakan komposisi yang optimum dalam menggunakan zeolit alam sebagai *filler*.

Kata kunci: Aspal Pen.60/70, ITS, Marshall, RMS, Zeolit Alam.

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia campuran beraspal terdiri dari 3 (tiga) jenis (Pedoman Teknik No.025/T/BM/1999), yaitu lapis aspal pasir (latasir); lapis tipis beton aspal (lataston) dan lapis beton aspal (laston). Laston pada umumnya digunakan pada jalan dengan beban lalu lintas tinggi serta diutamakan untuk digunakan pada daerah tropis. Agregat yang umum digunakan untuk perkerasan jalan adalah batu pecah, pasir dan memiliki persentase yang paling kecil dibandingkan dengan agregat kasar dan halus, namun *filler* mempunyai pengaruh yang signifikan pada campuran perkerasan jalan raya, karena *filler* mengisi rongga udara pada campuran perkerasan jalan raya. Serta aspal sebagai bahan ikat secara umum di Indonesia menggunakan aspal pertamina.

Ketersediaan *filler* debu batu saat ini sulit diperoleh, sehingga perlu alternatif *filler*. Oleh karena itu penulis terdorong untuk memanfaatkan zeolit sebagai *filler* pada campuran perkerasan jalan raya khususnya campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC), mengingat ketersediaan zeolit di Indonesia sangat melimpah dan biaya untuk mendapatkannya lebih murah daripada debu batu.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka peneliti mencoba untuk melakukan penelitian tentang Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) menggunakan aspal Pen.60/70 dan zeolit alam sebagai *filler*.

Landasan Teori

A. Beton Aspal (AC)

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambah. Faktor-faktor yang menentukan daya tahan perkerasan yaitu sifat agregat, sifat aspal dan temperatur. Agregat digunakan sebagai kerangka dan aspal sebagai pengikat campuran. Temperatur adalah faktor utama dalam pemeriksaan yang akan menentukan temperatur pemadatan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampuran umumnya antara 145°C - 155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal dengan nama *Hotmix* (Asphalt Institute, 2001).

B. Bahan Campuran Beton Aspal (AC)

1) Aspal

Aspal adalah sistem koloidal yang rumit dari material *hydrocarbon* yang terbuat dari Asphaltenes, resin dan oil. Material aspal berwarna coklat tua sampai hitam dan bersifat melekat, berbentuk padat atau semi padat yang didapat dari alam dengan penyulingan minyak (Kreb & Walker, 1971).

2) Agregat

Agregat adalah partikel-partikel butiran mineral yang digunakan dengan kombinasi berbagai jenis bahan perekat membentuk masa beton atau sebagai bahan dasar jalan, *backfill*, dan lainnya (Atkins, 1997).

C. Perancangan Campuran Beton Aspal (AC)

Tujuan secara umum dari perancangan campuran beton aspal adalah untuk menentukan kombinasi aspal dan agregat yang akan memberikan kinerja perkerasan dalam jangka waktu yang lama dari setiap bagian struktur perkerasan. Perancangan campuran agregat aspal adalah prosedur laboratorium yang harus dikerjakan untuk menyusun susunan agregat yang akan digunakan dalam campuran beton aspal. (Asphalt Institute, 1997). Perancangan campuran beton aspal untuk lapis perkerasan harus memenuhi sifat-sifat Stabilitas (*Stability*), Daya Tahan atau Keawetan (*Durability*), Kelenturan (*Flexibility*), Kekesatan Permukaan (*Skid Resistance*), Tahan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*), Mudah Dikerjakan (*Workability*), Kedekatan Terhadap Fluida (*Impermeability*).

D. Gradasi Campuran

Gradasi agregat merupakan campuran dari berbagai diameter butiran agregat yang membentuk susunan campuran tertentu, ditentukan melalui analisis saringan butiran (*grain size analysis*) dengan menggunakan 1 set saringan (ukuran saringan 19,1 mm; 12,7 mm; 9,52 mm; 4,76 mm; 2,38 mm; 1,18 mm; 0,59 mm).

E. Zeolit

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi (Gustam 2009). Untuk memaksimalkan ukuran pori-pori zeolit maka zeolit perlu diaktivasi. Aktivasi zeolit melalui cara fisika dilakukan dengan pemanasan (kalsinasi) (Sri Suryadi dan Irawan, 2009).

F. *Indirect Tensile Strength* (ITS)

Kekuatan tarik dipengaruhi oleh temperatur dan lama pembebanan. Kenaikan temperatur akan menyebabkan kekentalan aspal menurun. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya energi thermal (*thermal energy*) dan melarutnya *asphaltenes* ke dalam tanah. Jika dikaitkan dengan lalulintas maka pembebanan yang lama akan terjadi pada lalulintas dengan kecepatan rendah atau sebaliknya. Semakin lama pembebanan pada perkerasan maka aspal yang semula bersifat elastik akan menjadi bersifat lebih *viscos* (Totomiharjo, 2004).

2. METODOLOGI

Di dalam kajian penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu pemeriksaan agregat, pemeriksaan aspal dan pemeriksaan kelayakan *filler* dan pengujian Marshall. Pengujian terhadap agregat termasuk pemeriksaan berat jenis, pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles, kelekatan terhadap aspal, indeks kepipihan dan penyerapan air. Untuk pengujian aspal termasuk juga pengujian penetrasi, titik nyala-titik bakar, titik lembek, kehilangan berat, kelarutan (CCI4), daktilitas dan berat jenis. Sedangkan metode yang digunakan sebagai penguji campuran adalah metode Marshall, dimana dari pengujian Marshall tersebut didapatkan hasil-hasil yang berupa komponen-komponen Marshall, yaitu stabilitas, *flow*, *void in total mix* (VITM), *void filled with asphalt* (VFWA) dan kemudian dapat dihitung *Marshall Quotient*-nya.

Kajian penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada dengan menggunakan metode Pengujian Marshall dan *Indirect Tensile Strength* (ITS) pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) dengan panduan Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.

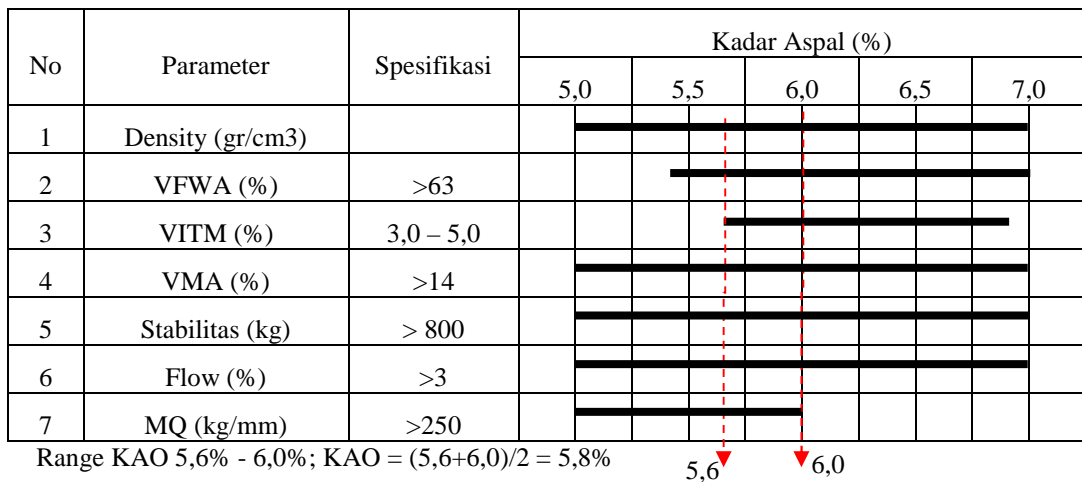
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Bahan campuran AC-BC

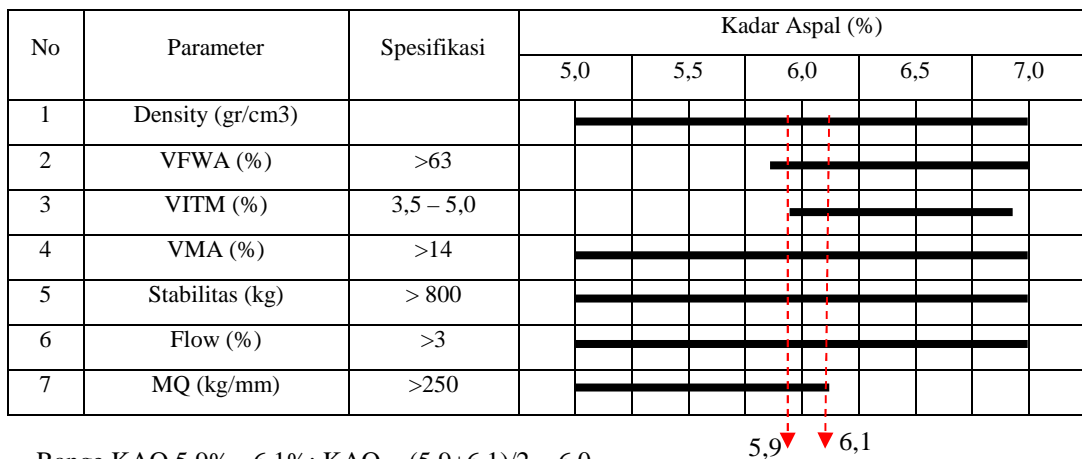
- a. Agregat (kasar,halus dan filler). Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar, agregat halus, *filler* debu batu yang berasal dari clereng, Kabupaten Kulon Progo, DIY dan *filler* zeolit alam dari Trucuk, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah.Agregat ini memenuhi persyaratan agregat untuk bahan susun campuran AC-BC sesuai dengan spesifikasi Umum Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2010 Revisi II (2012).
- b. Aspal Pen. 60/70. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina Pen.60/70 yang berasal dari Cilacap.Aspal ini memenuhi persyaratan untuk bahan susun AC-BC sesuai dengan spesifikasi Umum Kementerian Pekerjaan Umum 2010 Revisi II (2012).

B. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum menggunakan grafik batang dengan metode Narrow Range, kemudian dipilih rentang (range) kadar aspal yang memenuhi syarat karakteristik campuran dengan uji Marshall. Penentuan kadar aspal optimum pada setiap variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 1 sampai dengan 5.



Gambar 1. Penentuan KAO Variasi 1 (100% Debu Batu : 0% Zeolit Alam)



Gambar 2. Penentuan KAO Variasi 2 (75% Debu Batu : 25% Zeolit Alam)

No	Parameter	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
			5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	Density (gr/cm ³)		[Bar chart showing density requirements across asphalt percentages]				
2	VFWA (%)	>63	[Bar chart showing VFWA requirements]				
3	VITM (%)	3,5 – 5,0	[Bar chart showing VITM requirements]				
4	VMA (%)	>14	[Bar chart showing VMA requirements]				
5	Stabilitas (kg)	> 800	[Bar chart showing stability requirements]				
6	Flow (%)	>3	[Bar chart showing flow requirements]				
7	MQ (kg/mm)	>250	[Bar chart showing MQ requirements]				

Range KAO 6,05% - 6,1%; $KAO = (6,05+6,15)/2 = 6,1\%$ 6,05 6,15

Gambar 3. Penentuan KAO Variasi 3 (50% Debu Batu : 50% Zeolit Alam)

No	Parameter	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
			5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	Density (gr/cm ³)		[Bar chart showing density requirements]				
2	VFWA (%)	>63	[Bar chart showing VFWA requirements]				
3	VITM (%)	3,5 – 5,0	[Bar chart showing VITM requirements]				
4	VMA (%)	>14	[Bar chart showing VMA requirements]				
5	Stabilitas (kg)	> 800	[Bar chart showing stability requirements]				
6	Flow (%)	>3	[Bar chart showing flow requirements]				
7	MQ (kg/mm)	>250	[Bar chart showing MQ requirements]				

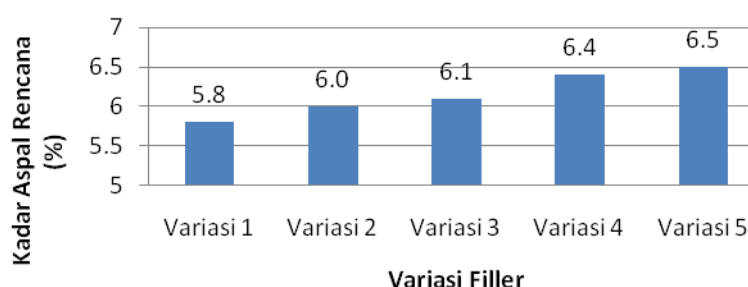
Range KAO 6,3% - 6,5; $KAO = (6,3+6,5)/2 = 6,4$ 6,3 6,5 6,5

Gambar 4. Penentuan KAO Variasi 4 (25% Debu Batu : 75% Zeolit Alam)

No	Parameter	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
			5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	Density (gr/cm ³)		[Bar chart showing density requirements]				
2	VFWA (%)	>63	[Bar chart showing VFWA requirements]				
3	VITM (%)	3,5 – 5,0	[Bar chart showing VITM requirements]				
4	VMA (%)	>14	[Bar chart showing VMA requirements]				
5	Stabilitas (kg)	> 800	[Bar chart showing stability requirements]				
6	Flow (%)	>3	[Bar chart showing flow requirements]				
7	MQ (kg/mm)	>250	[Bar chart showing MQ requirements]				

Range KAO 6,45% - 6,5 ; $KAO = (6,45+6,53)/2 = 6,5\%$ 6,45 6,53

Gambar 5. Penentuan KAO Variasi 5 (0% Debu Batu : 100% Zeolit Alam)



Gambar 6. Kadar Aspal Optimum (KAO) Untuk Semua Variasi Filler

Gambar 6 menunjukkan dengan menggunakan zeolit alam sebagai *filler* menaikkan kebutuhan aspal. Apabila digunakan *filler* debu batu 100% didapat 5,8%, sedangkan digunakan zeolit alam 100% didapat 6,5%. Kenaikan KAO akibat *filler* disebabkan *filler* zeolit alam yang asli tanpa diolah dan memiliki berat jenis yang lebih kecil dibandingkan dengan *filler* debu batu.

C. Karakteristik Marshall setelah KAO

Nilai-nilai karakteristik Marshall pada semua variasi setelah KAO diperoleh dengan metode Marshall disajikan dalam Tabel 1. dan Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik campuran pada kadar aspal optimum (KAO) perendaman Standar

Karakteristik	Campuran				
	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4	Variasi 5
Range KAO	5,6-6,1	5,9-6,1	6,05-6,15	6,3-6,5	6,45-6,53
Kadar Aspal (%)	5,8	6,0	6,1	6,4	6,5
VITM (%)	4	4	4	5	7
VMA (%)	14,3	14,1	14,8	14,7	14,2
VFWA (%)	71,0	66,7	67,8	63,3	55,3
Density (gr/cm ³)	2,356	2,390	2,362	2,327	2,335
Stabilitas (kg)	1229	1348	1365	1304	1249
Flow (%)	4	4	4	4	5
MQ (kg/mm)	323	316	347	326	277

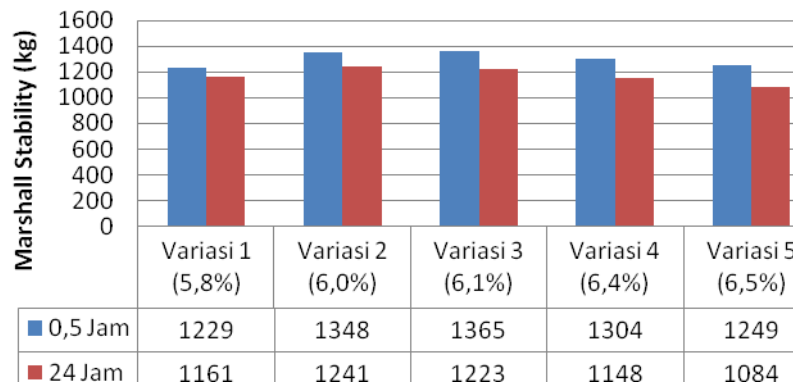
Tabel 2. Karakteristik Marshall pada perendaman 24 jam

Karakteristik	Campuran				
	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4	Variasi 5
Range KAO	5,6-6,1	5,9-6,1	6,05-6,15	6,3-6,5	6,45-6,53
Kadar Aspal (%)	5,8	6,0	6,1	6,4	6,5
Density (gr/cm ³)	2,339	2,374	2,328	2,313	2,326
VMA (%)	14,5	14,1	14,7	15,3	14,6
VFWA (%)	64,7	63,3	65,3	61,4	61
VITM (%)	5	5	5	5	5
Stabilitas (kg)	1161	1241	1223	1148	1084
Flow (%)	4	5	4	4	5
MQ (kg/mm)	279	272	301	273	221

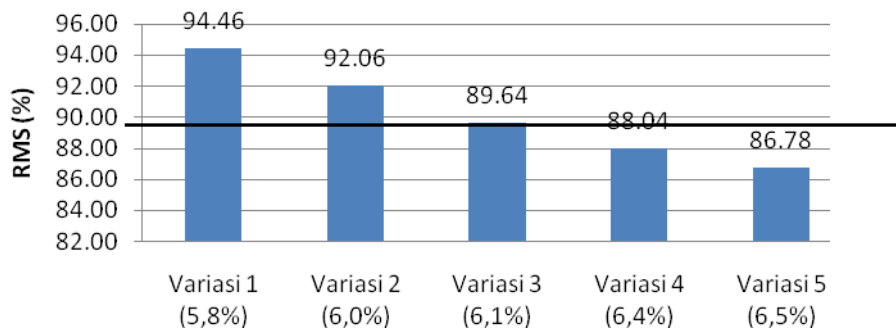
D. Marshall Immersion Test

Marshall Immersion Test menggambarkan kondisi perkerasan di lapangan yang terendam air dengan merendam benda uji selama 24 jam di dalam waterbath dengan temperature air sebesar 60°C.

Dari Gambar 6 maka masing-masing campuran dapat dihitung nilai Indeks Stabilitas Marshall Sisa-nya (*Index of Retained Marshall Stability*). Hasil perhitungan nilai RMS untuk semua variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Stabilitas Marshall setelah Perendaman

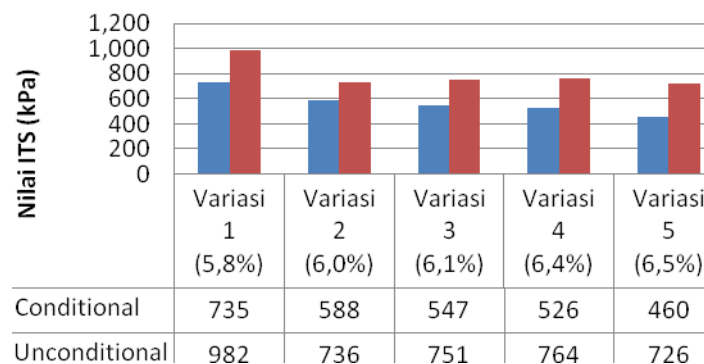


Gambar 7. Retained Marshall Stability (RMS)

Gambar 7 menunjukkan persentase *Retained Marshall Stability* (RMS) untuk campuran variasi 3, variasi 4 dan variasi 5 yang didapat lebih kecil dari minimum RMS yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2010 Revisi II (2012) yaitu sebesar 90% kecuali pada variasi 1 dan variasi 2.

E. Kuat tarik tidak langsung (ITS)

Nilai kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) menggambarkan ketahanan perkerasan terhadap retak (*cracking resistance*) dan kerusakan akibat pengaruh rendaman. Hasil perhitungan nilai ITS untuk semua variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 8.

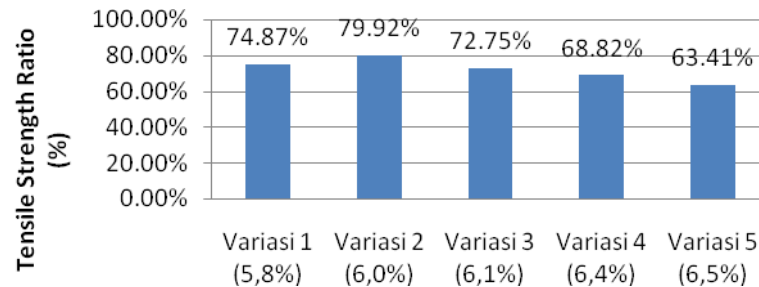


Gambar 8. Indirect Tensile Strength (ITS)

Gambar 8 menunjukkan nilai ITS *unconditioned* semua variasi campuran lebih tinggi dibandingkan dengan *conditioned*. Ini disebabkan pada saat proses perendaman, air meresap kedalam campuran sehingga membuat kekuatan campuran menurun.

F. Rasio kuat tarik (TSR)

Tensile Strength Ratio (TSR) adalah perbandingan nilai ITS yang sudah dikondisikan (*conditioned*) dengan sebelum dikondisikan (*unconditioned*). Hasil dari perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Rasio Kuat Tarik (*Tensile Strength Ratio*-TSR)

Persyaratan minimum TSR adalah sebesar 80% seperti yang tertulis dalam AASHTO T-283 (*Standard Method Of Test For Resistance Of Compacted Asphalt Mixture To Moisture-Induced Damage*). Berdasarkan Gambar 9, nilai TSR semua variasi campuran mempunyai nilai dibawah 80% yang berate semua variasi tidak memenuhi persyaratan, ini berarti semua variasi campuran kurang memiliki ketahanan terhadap retak (*cracking*).

4. KESIMPULAN

- a. Nilai karakteristik Marshall campuran AC-BC yang menggunakan aspal Pen.60/70 dan zeolit alam sebagai *filler* sebagai berikut:
 - 1) Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk tiap variasi mengalami kenaikan yaitu untuk variasi 1 (100 debu batu+0% zeolit) KAO sebesar 5,8%; variasi 2 (75% debu batu+25% zeolit) KAO sebesar 6,0%; variasi 3 (50% debu batu+50% zeolit) KAO sebesar 6,1%; variasi 4 (25% debu batu+75% zeolit) KAO sebesar 6,4% dan variasi 5 (0% debu batu+100% zeolit) KAO sebesar 6,5%.
 - 2) Campuran AC-BC yang menggunakan zeolit alam sebagai *filler* (variasi 2, 3, dan 4) memiliki nilai VITM yang memenuhi persyaratan namun untuk variasi 5 tidak memenuhi persyaratan dan untuk nilai VMA yang tertinggi pada variasi 3 (50% debu batu+50% zeolit). Untuk nilai VFWA pada variasi 2 (75% debu batu + 25% zeolit) dan variasi 3 (50% debu batu +50% zeolit) memenuhi persyaratan dan untuk variasi 4 (25% debu batu+ 75% zeolit) dan variasi 5 (0% debu batu + 100% zeolit) tidak memenuhi persyaratan. Hal ini menunjukkan bahwa campuran AC-BC yang menggunakan zeolit alam sebagai *filler* (variasi 2 dan variasi 3) mempunyai fleksibilitas dandurabilitas yang hampir sama dengan campuran yang menggunakan debu batu sebagai *filler* (variasi 1).
 - 3) Nilai stabilitas campuran AC-BC yang menggunakan zeolit alam sebagai *filler* (variasi 2, 3, dan 4) untuk kondisi rendaman 0,5 jam dan 24 jam lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan debu batu (variasi 1) namun untuk variasi 5 pada perendaman 24 jam mengalami penurunan dibawah dari campuran yang menggunakan debu batu sebagai *filler* (variasi 1).
 - 4) Hasil uji menunjukkan bahwa semakin lama perendaman dan semakin tinggi kadar zeolit alam maka nilai MQ semakin menurun. Hal ini disebabkan karena nilai stabilitas yang semakin menurun dan nilai *flow* yang semakin meningkat seiring dengan bertambahnya persentase penggunaan zeolit alam.
- b. Nilai kuat tarik tidak langsung (ITS) campuran AC-BC dengan menggunakan zeolit alam sebagai *filler* memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan debu batu baik itu nilai ITS *conditioned* dan *unconditioned*. Sedangkan nilai rasio kuat tarik (TSR) yang dimiliki oleh semua variasi campuran berada dibawah nilai persyaratan minimum TSR sebesar 80% yang berarti semua variasi campuran tidak masuk dalam persyaratan.
- c. Dari semua variasi campuran yang menggunakan zeolit alam, variasi 2 (75% debu batu : 25% zeolit alam) dan variasi 3 (50% debu batu : 50% zeolit alam) merupakan komposisi yang paling optimum. Hal ini dilihat dari nilai stabilitas, stabilitas marshall sisa, variasi 2 (75% debu batu : 25% zeolit alam) dan variasi 3 (50% debu batu : 50% zeolit alam) mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi 4 (25% debu batu : 75% zeolit alam) dan variasi 5 (0% debu batu : 100% zeolit alam).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah senantiasa memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan dapat menyelesaikan makalah inidan penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu penulis dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). *Sampling Bituminous Paving Mixtures*, AASHTO Designation T 168-82, Part II Test, 16th Edition.
- Annual Book of ASTM Standart. (1989). American Society For Testing Material Philadelphia.
- Asphalt Institute. (2001) *Construction of Hot Mix Asphalt Pavement*, MS-22, Six Edition, Lexington, Kentucky, USA.
- ASTM. (1997). *Road and Paving Materials Vehicle – Pavement System*, Published By The American Society of Testing Material Officials, Washington D.C
- Atkins, H.N. (1997). *Highway Materials, Soils and Concretes*, 3th Edition Prentice Hall, New Jersey.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2010). *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan (Revisi II)*, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Furqon A. (2011). *Pengaruh Metode Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Bahan Penurun Temperatur Campuran Beraspal Hangat*, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Laboratorium Teknik Transportasi. (2013). *Modul Praktikum Bahan Perkerasan Jalan*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Sastra M. (2013). *Perancangan Laboratorium Pada Campuran AsphalticConcreteBinder Course(AC-BC) Dengan Abu Serbuk Bunkil Biji Pohon Jarak Pagar Sebagai Filler*, Tesis MSTT Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Shell Bitumen. (1990). *The Shell Bitumen Hand Book*, Published By Shell Bitumen, East Molesey Serrey.
- Suparma L. B. (2011). *Bahan Konstruksi Perkerasan*, Buku Materi Kuliah MSTT Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- The Asphalt Institute. (1983). *Construction of Hot Mix Asphalt Pavement*, Manual Series No. 22, Second Edition, Lexington, Kentucky, USA.
- The Asphalt Institute. (1993). *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot Mix Types*, Manual Series No. 2 (MS-2), 5th Edition, Lexington, Kentucky, USA.