

UJI MARSHALL TERHADAP CAMPURAN AC-WC DENGAN SUBSTITUSI KOLABORASI LIMBAH PET DAN SBB KE DALAM ASPAL PENETRASI 60/70

Iqbal¹, Sofyan M. saleh², Muhammad Isya³

¹⁾ Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
email: Iqbal.teknik04@gmail.com

^{2,3)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,
email: sofyan.saleh@unsyiah.ac.id², m_isya@unsyiah.ac.id³

Abstract: Many materials for asphalt mixture are from waste that believed can be improved the pavement performance, such as stability and durability. The remaining polyethylene terephthalate type (PET) plastic waste which is used for plastic bottles of mineral water and second tires dust (STD) was the result of grated outer tires of the four wheels vehicle. The aims of this research is to determine influence of collaboration PET waste and STD into asphalt pen. 60/70 against Marshall test on AC-WC mixture. The first stages of this research is to determine the optimum asphalt content, then create the specimens without substitution waste and with collaboration substitution both of waste additive on collaboration percentage variations of PET 25% + STD 75%, PET 50% + STD 50%, PET 75% + STD 25% with Marshall test. From the research results obtained the value of stability without substitution those were 1602,84 kg and the greater results of stability value with collaboration variations obtained on percentage of PET 75% + STD 25% those were 1942,44 kg. The result of Marshall parameters value without and with collaboration both of waste such as stability, flow, Marshall Quantient, density, VIM, VMA, and VFB, still meet the requirements of Bina Marga specification (2014). The durability value without and with collaboration substitution were 93,82 %, and 97,13%. All of the durability value with substitution on waste percentage variation into asphalt had met the requirement of Bina Marga (2014), those were $\geq 90\%$.

Keywords : Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC), Modified Asphalt, Collaboration

Abstrak: Banyak bahan material untuk campuran ke dalam aspal merupakan dari limbah yang diyakini dapat meningkatkan kinerja seperti stabilitas dan durabilitas. Sisa limbah plastik jenis polyethylene terephthalate (PET) yang merupakan bahan digunakan untuk botol plastik air mineral dan serbuk ban bekas (SBB) merupakan hasil dari parutan ban luar kendaraan roda empat. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kolaborasi limbah PET dan serbuk ban bekas ke dalam aspal Pen. 60/70 terhadap uji Marshall pada campuran AC-WC. Tahapan pertama dari penelitian ini adalah menentukan kadar aspal optimum, selanjutnya dilakukan pencampuran tanpa substitusi limbah dan dengan campuran substitusi kolaborasi kedua bahan aditif limbah dengan variasi persentase kolaborasi PET 25% + SBB 75%, PET 50% + SBB 50%, PET 75% + SBB 25% dengan pengujian parameter Marshall. Dari hasil penelitian didapatkan nilai stabilitas tanpa substitusi yaitu 1602,84 kg dan hasil nilai stabilitas variasi kolaborasi tertinggi di dapat pada persentase PET 75% + SBB 25% yaitu 1942,44 kg. Nilai parameter untuk tanpa dan kolaborasi yang dihasilkan berupa stabilitas, flow, Marshall Quantient, density, VIM, VMA, dan VFB masih memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga tahun 2014. Nilai durabilitas tanpa substitusi yaitu sebesar 93,82% dan nilai durabilitas untuk substitusi kolaborasi yaitu 97,13%. Semua nilai durabilitas substitusi pada variasi persentase limbah ke dalam aspal telah memenuhi syarat yang ditentukan Bina Marga tahun 2014 yaitu $\geq 90\%$.

Kata kunci : Campuran AC-WC, Aspal Modifikasi, Kolaborasi limbah

Konstruksi jalan di Indonesia umumnya menggunakan campuran aspal beton karena dalam campuran ini menghasilkan lapisan perkerasan yang kedap air dan tahan lama. Selain itu juga mempunyai kelemahan seiring bertambahnya volume lalu lintas dan beban muatan kendaraan yang berlebih sehingga jalan mudah cepat terjadi kerusakan. Usaha untuk meningkatkan perkerasan jalan yang berkualitas sangat diperlukan sebagai penunjang sarana dan prasarana transportasi.

Campuran pada aspal dapat dimodifikasi dengan menambahkan beberapa zat substitusi, mulai dari aditif bahan kimia, bahan alam dan sisa limbah. Banyak material-material limbah yang ada di alam yang merupakan hasil produk lokal dan juga mudah diperoleh serta lebih ekonomis yang dapat di gunakan sebagai bahan substitusi untuk campuran aspal beton yang diyakinin dapat meningkatkan kinerja seperti stabilitas dan durabilitas. Pemamfaatan barang-barang bekas di samping mengatasi masalah pencemaran lingkungan juga diharapkan dapat menjadi bahan tambah untuk peningkatan kinerja aspal (Zulfiani, 2012).

Bahan limbah *Polyethylene Terephthalate* (PET) jenis plastik yang merupakan bahan yang sering digunakan untuk botol air mineral dan dapat digunakan menjadi bahan substitusi dalam campuran aspal yang mampu menaikkan kualitas campuran, seperti titik leleh, dan meningkatkan ketahanan terhadap terjadinya alur akibat stabilitas yang meningkat dalam artian kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang, alur maupun *bleeding* yang diakibatkan oleh pembebanan (Soandrijani, 2013). Limbah PET mempunyai sifat

tidak elastis dan juga mempunyai sifat *thermoplastic* yaitu pada suhu tinggi yang akan mencair tetapi pada suhu lingkungan akan menjadi keras.

Serbuk ban bekas merupakan hasil dari parutan ban luar kendaraan roda empat yang merupakan bahan padat dengan kekentalan dan bersifat lentur yang merupakan bahan tidak digunakan lagi yang berasal dari parutan ban bekas. Penggunaan parutan ban bekas sangat cocok digunakan pada daerah beriklim panas (Kennedy, 2000). Berdasarkan penelitian *US Department OF Transportation Federal Hinghway Administration* di Amerika sejak tahun 1986 menyatakan bahwa penggunaan serbuk ban bekas sebagai bahan tambah additif mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang di akibatkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas (Sugiyanto, 2008 dikutip AASHTO, 1982). *Road Research Centre, Ministry of Public Work* di Kuwait menyatakan penambahan lateks dan parutan ban bekas terhadap aspal dapat mencegah terjadinya kerusakan jalan dan memperkecil terjadinya pelepasan butir pada permukaan perkerasan lentur.

KAJIAN KEPUSTAKAAN

Bahan Additif

Bahan Tambah additif adalah bahan yang ditambahkan ke dalam campuran dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas campuran aspal, untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan untuk jalan yang sering dilalui kendaraan berat dan meningkatkan viskositas saat pengolahannya (Sukirman, 2003).

Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat

dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai modifikasi aspal yaitu polimer (*plastomer* dan *elastomer*).

Polyethylene Terephthalate (PET)

Polyethylene Terephthalate (PET) adalah polimer jernih yang memiliki kekuatan (*strength*) yang tinggi, kaku (*stiffness*) dan juga memiliki daya serap uap air yang rendah, demikian juga daya serap terhadap air. Bahan plastik jenis PET digunakan untuk botol plastik yang berwarna jernih/ transparan/ tembus pandang biasanya digunakan pada botol air mineral, botol jus dan hampir semua botol minuman lainnya. Menurut Nugrohojati (2002).

Serbuk Ban Bekas (SBB)

Penambahan bahan tambahan seperti serbuk ban bekas ke dalam campuran aspal dapat memberikan daya tahan yang lebih baik terhadap suhu tinggi maupun beban, dibandingkan dengan aspal tanpa penambahan bahan tambah. Penambahan bahan tambah pada aspal dapat memberikan indikasi untuk memperbaiki ketahanan geser pada suhu tinggi sehingga mencegah terjadinya kerusakan (Aprina, 2005).

Lapisan Aspal Beton

Laston (Lapisan aspal beton) adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang berat (Sukirman, 2003). Berdasarkan fungsinya, Laston terdiri dari tiga macam campuran, yaitu Laston lapis aus (AC-WC), Laston lapis pengikat (AC-BC) dan Laston lapis pondasi (AC-Base).

Campuran AC-WC merupakan lapisan paling

atas dari struktur perkerasan yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan.

Ketentuan mengenai sifat-sifat dari campuran Laston AC-Mod dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Ketentuan Sifat-sifat Laston (AC-Mod)

Sifat-sifat Campuran (AC-Mod)	Min.	Maks.
Stabilitas Marshall (kg)	1000	-
Flow (mm)	2	4
Marshall Quotient (kg/mm)	250	-
Density (gr/cm ³)	2	-
VIM (%)	3,0	5,0
VMA (%)	15	-
VFA (%)	65	-
Stabilitas Marshall sisa(%)	90	-

Sumber: Bina Marga(2014)

Bahan Campuran Beraspal Panas

Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu mengandung 90%-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75%-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain (Sukirman, 2003).

Aspal

Menurut Sukirman (2003), aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat dan bersifat termoplastis. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% dari berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume.

Fungsi aspal adalah sebagai bahan pengikat dengan butiran agregat dan sebagai bahan pengisi,

mengisi rongga antar butir dan pori-pori agregat itu sendiri (Saodang, 2005).

Gradasi agregat

Gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel agregat berdasarkan ukurannya yang saling mengisi dan membentuk suatu ikatan saling mengunci (*interlocking*) sehingga dapat mempengaruhi stabilitas perkerasan (Bukhari, 2007).

Rincian gradasi agregat untuk campuran AC-WC, spesifikasi teknis Bina Marga (2014) adalah seperti pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Spesifikasi Gradasi Agregat Laston Lapis Aus (AC-WC)

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos
ASTM	(mm)	AC-WC
3/4"	19	100
1/2"	12,5	90 – 100
3/8"	9,5	77 – 90
No. 4	4,75	53 – 69
No.8	2,36	33 – 53
No. 16	1,18	21 – 40
No. 30	0,6	14 – 30
No. 50	0,3	9 – 22
No. 100	0,15	6 - 15
No. 200	0,075	4 – 9

Sumber: Bina Marga (2014)

METODE PENELITIAN

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat dan aspal. Setelah semua hasil dari pemeriksaan sifat-sifat fisis material dan sesuai dengan spesifikasi, maka dilakukan perencanaan pembuatan benda uji dan pengujian Marshall.

Pengujian material agregat

Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan adalah batu kali yang dipecah dengan mesin pemecah batu (*Stone Crusher*) yang berasal dari Seulimum Kabupaten Aceh Besar.

Pemeriksaan sifat fisis agregat yang dilakukan meliputi: berat jenis dan penyerapan, beratisi, kepipihan dan kelonjongan, kekerasan, keausan dan kelekatan terhadap aspal.

Pengujian material aspal

Aspal terlebih dahulu diperiksa sifat-sifat fisisnya baik dengan maupun tanpa substitusi limbah plastik dan serbuk ban bekas sebelum digunakan. Aspal yang dipakai dalam penelitian ini yaitu aspal keras penetrasi 60/70. Untuk bahan substitusi yang digunakan adalah limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan bahan digunakan untuk botol plastik air mineral dan serbuk ban bekas merupakan hasil dari parutan ban luar kendaraan roda empat. Metode pencampuran dilakukan dengan terlebih dahulu memanaskan aspal murni, setelah aspal mencair, selanjutnya dicampur dengan limbah plastik PET yang telah dihancurkan sampai ukuran ± 2 mm dan serbuk ban bekas lolos #50 hasil dari parutan dengan mesin, dengan kadar substitusi masing-masing yang direncanakan. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses pelarutan ke dalam aspal. Suhu pencampuran tidak boleh melebihi 180 °C agar sifat kohesi aspal tetap terjaga. Setelah aspal dan limbah menjadi homogen, selanjutnya dilakukan pemeriksaan sifat-sifat fisisnya yang meliputi berat jenis, penetrasi, daktilitas dan titik lembek.

Perencanaan Campuran Aspal Beton

Pemilihan gradasi agregat

Gradasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi menerus berdasarkan nilai tengah dari spesifikasi teknis Bina Marga (2014) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Benda uji campuran AC-WC yang dibuat pada penelitian ini, yaitu:

1. Benda uji dengan variasi kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) dengan jumlah 15 benda uji.
2. Benda uji tanpa substitusi dan benda uji dengan substitusi kolaborasi sebesar (25% PET + 75% SBB), (50% PET + 50% SBB), (75% PET + 25% SBB) pada KAO dengan pengujian rendaman 30 menit pada suhu 60 °C dengan jumlah benda uji 12 buah dari pengujian parameter Marshall.
3. Benda uji dengan dan tanpa substitusi kolaborasi rendaman 30 menit dan rendaman 24 jam pada suhu 60°C, untuk mengetahui nilai stabilitas sisa (*durabilitas*) dengan jumlah benda uji 12 buah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang disajikan meliputi hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat, sifat-sifat fisis aspal dan evaluasi penggunaan dengan tanpa substitusi dan dengan substitusi sebesar (25% PET + 75% SBB), (50% PET + 50% SBB), (75% PET + 25% SBB) terhadap karakteristik campuran AC-

WC pada kadar aspal optimum (KAO).

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat disajikan pada Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Agregat

Sifat-sifat Fisis yang diperiksa	Satuan	Hasil	Syarat
Berat Jenis	gr/cm ³	2,775	Min. 2,5
Penyerapan	%	1,119	Maks. 3
Berat Isi	%	1,656	Min. 1
Indeks Kepipihan	%	17,18	Maks. 10
Indeks Kelonjongan	%	15,80	Maks.10
Impact	%	8,94	Maks. 30
Keausan	%	15,00	Maks. 40
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	%	98	Min. 95

Dari hasil penelitian, sifat-sifat fisis agregat yang digunakan telah memenuhi syarat, kecuali nilai indeks kepipihan dan kelonjongan yang berada diatas 10% yaitu sebesar 17,18% dan 15,80%, akan tetapi di dalam spesifikasi pada uraian tentang agregat kasar terdapat ketentuan yang menyatakan apabila terdapat ketidak sesuaian, nilai tersebut dapat ditolerir, apabila agregat memenuhi semua ketentuan lainnya, terutama hasil dari pengujian abrasi dengan mesin *Los Angeles* memenuhi syarat.

Hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70

Data hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal Pen. 60/70 murni maupun dengan substitusi *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan substitusi serbuk ban bekas memperlihatkan bahwa aspal tersebut dapat digunakan karena memenuhi persyaratan. Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal tersebut disajikan pada Tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal Pen. 60/70 dengan Substitusi PET

Sifat-sifat Fisis Aspal	Satuan	Kadar PET			Kadar SBB			Syarat
		1%	2%	3%	1%	2%	3%	
Berat jenis		1.023	1.027	1.032	1.030	1.034	1.037	Min. 1
Penetrasi	0,1 mm	59	57	55	65	62	60	50-70
Titik lembek	°C	48	48.20	48.25	54.05	54.70	55.20	Min.48
Daktilitas	Cm	129	126	123	122	121	115	Min.50

Hasil Pengujian Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan hasil pengujian, nilai parameter Marshall dari variasi kadar aspal Pen. 60/70, selanjutnya dianalisa untuk memperoleh nilai KAO. KAO yang diperoleh adalah sebesar 5,31% yang

memenuhi semua persyaratan parameter Marshall. Berdasarkan nilai KAO tersebut selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji tanpa dan dengan substitusi variasi kolaborasi persentase limbah.

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) campuran AC-WC disajikan pada Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Kadar Aspal Pen. 60/70

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Dept. PU (2014)
	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	
Stabilitas (kg)	1479,70	1276,61	1451,07	1427,89	1485,33	Min. 800
Flow (mm)	2,85	3,40	2,35	2,78	3,16	2 - 4
MQ (kg/mm)	552,64	375,26	622,09	565,65	470,53	Min. 250
Density (gr/cm ³)	2,42	2,45	2,47	2,49	2,48	-
VIM (%)	7,07	5,05	3,52	1,89	1,67	3 - 5
VMA (%)	22,49	21,88	21,70	21,45	22,34	Min. 15
VFA (%)	68,60	76,91	83,79	91,23	92,54	Min. 65

Campuran substitusi kolaborasi di peroleh dari substitusi limbah PET dan SBB ke dalam aspal dengan persentase masing-masing yaitu 1%, 2% dan 3%. Berdasarkan hasil uji parameter Marshall variasi persentase terbaik di peroleh pada substitusi PET yaitu pada variasi 3% sedangkan substitusi SBB yaitu pada variasi 1%, selanjutnya dilakukan

kolaborasi kedua bahan aditif limbah dari substitusi variasi persentase terbaik dengan variasi persentase kolaborasi pada kadar aspal optimum.

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall untuk variasi substitusi kolaborasi pada campuran AC-WC disajikan pada Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Substitusi Kolaborasi

Karakteristik Campuran	Kadar Kolaborasi (%)				Spesifikasi Dept. PU (2014)
	Tanpa substitusi	PET 25% + SBB75%	PET 50% + SBB 50%	PET 75% + SBB 25%	
Stabilitas (kg)	1602,84	1905,40	1891,49	1942,44	Min. 1000
Flow (mm)	3,13	3,57	3,67	3,40	2 - 4
MQ (kg/mm)	512,29	538,94	518,67	571,03	Min. 250
Density (gr/cm ³)	2,460	2,481	2,462	2,473	-
VIM (%)	4,18	3,49	4,18	3,87	3 - 5
VMA (%)	21,83	21,15	21,75	21,42	Min. 15
VFA (%)	80,85	83,52	80,81	81,99	Min. 65

Tabel 7. Rekapitulasi Nilai Durabilitas tanpa dan dengan Substitusi Kolaborasi Efektif

Jenis Campuran Aspal	Stabilitas Ren- daman 30 Menit	Stabilitas Ren- daman 24 Jam	Nilai Durabilitas (%)
a	b	c	d = c/b x 100
Tanpa Substitusi	1606,46	1507,11	93,82
Kolaborasi PET 75% + SBB 25%	1922,27	1867,09	97,13

Pembahasan Hasil Pengujian Marshall

Berdasarkan hasil penelitian, Nilai stabilitas tertinggi didapat pada kadar aspal dengan substitusi kolaborasi PET 75% + SBB 25% yaitu sebesar 1942,44 kg. Peningkatan nilai stabilitas pada kolaborasi disebabkan karena semakin bertambahnya kadar substitusi persentase PET dari pada persentase serbuk ban bekas dan juga karena daya lekat aspal baik terhadap agregat maupun aspal itu sendiri semakin baik sehingga semakin kuat *interlocking* yang terjadi antar butiran.

Nilai *flow* tertinggi didapat pada kadar aspal dengan substitusi kolaborasi PET 50% + SBB 50% yaitu sebesar 3,67 mm. Peningkatan nilai *flow* disebabkan kadar substitusi PET dan serbuk ban bekas sama dan juga mengakibatkan aspal dalam campuran menjadi lebih keras dengan nilai penetrasi menjadi lebih kecil dan titik lembek meningkat.

Nilai MQ tertinggi didapat pada kadar aspal dengan substitusi kolaborasi PET 75% + SBB 25% yaitu sebesar 571,03 kg/mm. Peningkatan nilai MQ disebabkan karena semakin bertambahnya kadar substitusi persentase PET dari pada persentase serbuk ban bekas. Besarnya nilai MQ memberikan indikasi bahwa campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur, meskipun nilai MQ tersebut

memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh Bina Marga (2014).

Nilai *density* tertinggi didapat pada kadar aspal dengan substitusi kolaborasi PET 25% + SBB 75% yaitu sebesar 2,481 t/m³. Peningkatan nilai *density* disebabkan karena semakin bertambahnya kadar substitusi persentase serbuk ban bekas dari pada persentase PET, dan juga dari semua substitusi variasi persentase limbah kolaborasi pada variasi kadar aspal tidak jauh berbeda pada campuran AC-WC ini. Nilai *density* pada semua substitusi kolaborasi telah memenuhi persyaratan yaitu $\geq 2 \text{ gr/cm}^3$.

Nilai VIM tertinggi didapat pada kadar aspal dengan substitusi kolaborasi PET 50% + SBB 50% yaitu sebesar 3,490%. Peningkatan nilai VIM disebabkan kadar substitusi PET dan serbuk ban bekas sama. Hal ini disebabkan karena aspal semakin kental dan keras.

Nilai VMA tertinggi didapat pada kadar aspal dengan substitusi kolaborasi PET 50% + SBB 50% yaitu sebesar 21,747%. Peningkatan nilai VMA disebabkan kadar substitusi PET dan serbuk ban bekas sama, besar kecilnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal yang menyelimuti butir agregat, kadar aspal yang besar akan membentuk selimut butir agregat yang tebal, akibatnya rongga antar agregat

semakin besar.

Nilai VFA tertinggi didapat pada kadar aspal dengan substitusi kolaborasi PET 25% + SBB 75% yaitu sebesar 83,52%. Peningkatan nilai VFA disebabkan karena semakin bertambahnya kadar substitusi persentase serbuk ban bekas dari pada persentase PET. Meningkatnya nilai VFA disebabkan karena semakin banyak aspal yang digunakan, sehingga mengurangi komposisi agregat yang terdapat di dalam campuran.

Nilai durabilitas yang didapat dari hasil perbandingan stabilitas dari rendaman 24 jam dibandingkan stabilitas dari rendaman 30 menit nilai durabilitas campuran laston lapis aus AC-WC tanpa substitusi yaitu 93,82% sedangkan nilai durabilitas kolaborasi pada campuran variasi substitusi PET 75% + SBB 25% yaitu sebesar 97,13%. Nilai durabilitas untuk semua variasi substitusi kolaborasi pada aspal memenuhi persyaratan $\geq 90\%$. Nilai durabilitas menunjukkan tingkat keawetan campuran beton aspal dan dalam campuran menunjukkan bahwa campuran aspal beton tahan terhadap pengaruh air, pengaruh suhu dan cuaca.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hasil pemeriksaan sifat-sifat agregat, aspal Pen. 60/70 dan aspal Pen. 60/70 setelah disubstitusi variasi persentase PET dan serbuk ban bekas telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.
2. Berdasarkan evaluasi parameter Marshall diperoleh kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,31%, selanjutnya disubstitusi dengan tanpa substitusi dan substitusi kolaborasi terhadap berat aspal.
3. Nilai stabilitas tanpa menggunakan substitusi yaitu sebesar 1602,84 kg, sedangkan nilai stabilitas kolaborasi substitusi cenderung meningkat dengan bertambahnya PET dari pada serbuk ban bekas, variasi kolaborasi tertinggi di dapat pada variasi PET 75% + SBB 25% yaitu sebesar 1942,44 kg.
4. Hasil penelitian bahwa nilai stabilitas, nilai flow, nilai Marshall Quantient, nilai density, nilai VIM, nilai VMA dan nilai VFB menunjukkan Semua variasi persentase variasi kolaborasi memenuhi nilai spesifikasi yang ditentukan oleh Dinas Bina Marga 2014.
5. Nilai durabilitas yang diperoleh pada campuran tanpa substitusi kolaborasi yaitu sebesar 93,82%, sedangkan pada kadar aspal dengan substitusi kolaborasi PET 75% + SBB 25% sebesar 97,13%.

Saran

1. Penelitian selanjutnya di sarankan untuk mengganti jenis plastik yang lain untuk di kolaborasi dengan serbuk ban bekas yang lebih bervariasi, agar dapat diketahui lebih banyak variasi nilai-nilai Stabilitas Marshal dan Durabilitas sehingga dapat dipilih nilai yang mana yang terbaik untuk campuran kolaborasi.
2. Metode pencampuran limbah pada campuran aspal ini merupakan cara basah serta menggunakan gradasi menerus, disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan gradasi yang berbeda dengan pencampuran menggunakan cara kering.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- AASHTO, 1990, Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 15thed, AASHTO, Washington, DC.
- Bukhari, dkk, 2007, Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan, Fakultas Teknik, Universitas Syia Kuala.
- Direktorat Jendral Bina Marga, 2014, Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 Revisi 3 Divisi 6. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Sugiyanto, Gito., 2008, Kajian Pemamfaatan Limbah Serbuk Ban Bekas Sebagai Material Agregat Halus Pada Campuran Hot Rolled Asphalt Untuk Mengurangi Kerusakan Jalan, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Jenderal Soeirman, Purwokerto.
- Zulfiani, 2012, Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton (AC-WC) Terhadap Pengaruh Plastik Sebagai Bahan Substitusi Aspal, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Nugrohojati, E.S., 2002, Pengaruh Penggunaan Serat Limbah Botol Minuman Sebagai Additive Pada Campuran HRA Ditinjau Dari Ketahanan Terhadap Air, Tugas Akhir Sarjana Strata Satu Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Aprina, Wiwi dan Silfiani., 2005,

Karakteristik Marshall dan Evaluasi Kadar Aspal Optimum Campuran Hot Rolled Sheet Dengan Serbuk Ban Bekas Sebagai Bahan Substitusi, Skripsi. Program Strata 1, Program Studi Teknik Sipil ITB.

Kennedy. T. W., 2000, *Characterization of Asphalt Paving Technology*, Volume 46, Page 132-150, San Antonio, Texas, USA.

Soandrijani, Lingo,. 2013. *Penggunaan Plastik Polyethylene Perekmpalate Sebagai Bahan Substitusi Pada HRS-WC*. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.

Saodang, H, 2005, *Konstruksi Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung.

Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Penerbit Granit, Bandung.