

NILAI DURABILITAS DAN NILAI WORKABILITAS CAMPURAN AC – WC MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH GENTENG POLIMER

Ipung Ayu Anggraeni¹, Agus Riyanto², Sri Sunarjono³, Senja Rum Harnaeni⁴

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Surakarta 57102 Telp 0271717417
Email: ipungayu5@gmail.com¹

Abstrak

Tingginya jumlah transportasi di darat mengakibatkan tekanan ban dari beban kendaraan meningkat, sehingga mengakibatkan struktur lapis perkerasan aspal jalan menjadi cepat rusak (Diansari,2016). Selain itu perubahan cuaca dan suhu juga dapat berpengaruh pada keawetan lapis perkerasan aspal. *Asphalt Concrete - Wearing Course* merupakan lapis permukaan yang bersinggungan langsung terhadap beban kendaraan dan perubahan cuaca. Penelitian ini diharapkan mengetahui hasil analisis campuran lapis perkerasan *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC - WC)* dengan bahan tambah genteng polimer yang memiliki nilai durabilitas dan nilai workability ditinjau dari variasi lama rendaman yaitu 1 hari, 4 hari dan 7 hari serta variasi takaran genteng polimer yaitu 0%, 2%, 4%, dan 6%, dan variasi jumlah tumbukan. Hasil penelitian didapatkan nilai durabilitas campuran AC-WC paling tinggi pada rendaman 1 hari daripada rendaman 4 hari dan 7 hari. Nilai workability paling mudah pada takaran genteng polimer 2% dibandingkan dengan variasi takaran 0%, 4% dan 6%.

Kata Kunci: *Asphalt Concrete Wearing Course; Durability; Workability*

Pendahuluan

Pada perkembangan zaman seperti sekarang ini prasarana transportasi di jalan raya semakin bertambah. Tingginya aktivitas jasa transportasi di jalan raya sangat terlihat dari semakin meningkatnya volume dan berat kendaraan yang tak jarang mengakibatkan kemacetan, sehingga tekanan ban dari beban kendaraan meningkat dan mengakibatkan struktur lapis perkerasan aspal jalan menjadi cepat rusak (Diansari,2016). Selain itu perubahan cuaca dan suhu juga dapat berpengaruh pada keawetan lapis perkerasan aspal (Subagio,2015).

Aspal beton (*Asphalt Concrete*) merupakan lapis permukaan struktural atau lapis pondasi atas yang mempunyai tiga macam tipe lapisan, yaitu tipe I *Asphalt Concrete - Base (AC - Base)*, tipe II *Asphalt Concrete - Binder Course (AC - BC)*, dan tipe III *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC - WC)* (Djoko Sarwono, 2017). Disini lapis beton (laston) *AC - WC* adalah lapisan perkerasan yang terletak paling atas sehingga bersinggungan langsung terhadap beban kendaraan dan perubahan cuaca. Lapisan *AC - WC* bersifat non struktural, sehingga mudah sekali mengalami kerusakan. Berdasarkan hal tersebut, banyak diteliti tentang bahan *additive* (bahan tambah) dan bahan *filler* (bahan pengisi) dari material lokal maupun non lokal yang dapat memodifikasi sifat sifat aspal dalam campuran, sehingga dapat memperbaiki kinerja perkerasan (Dian Eka Saputra, 2012) yang ditinjau dari nilai durabilitas dan nilai *workability*.

Uraian di atas mendasari untuk mengetahui apakah penambahan genteng polimer sebagai bahan *additive* ke dalam campuran beton aspal Tipe III dapat meningkatkan kinerja yang ditinjau dari nilai durabilitas dan *workability*. Dimana nilai durabilitas dan nilai *workability* merupakan acuan yang sangat penting di dalam lapis perkerasan beton aspal. Tujuan penambahan genteng polimer terhadap lapis perkerasan beton aspal diharapkan mempunyai umur yang panjang, awet, serta kinerja yang bagus agar tercapainya kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta dan bersifat eksperimental sesuai dengan ketentuan Bina Marga, (2007). Hasil penelitian ini dilakukan untuk menganalisis keawetan (durabel) dan kemudahan pelaksanaan (workabel) lapis perkerasan di lapangan dengan mensimulasikan ke laboratorium. Adapun cara untuk mengetahui durabilitas dan *workability* dengan beberapa metode berikut ini :

1. Metode Pengujian Durabilitas Standar

Perbandingan nilai stabilitas yang direndam selama 24 jam dengan nilai stabilitas yang direndam selama 30 menit, dinyatakan dalam persen (%), dan disebut Indeks Kekuatan Sisa (IKS). Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (1)$$

dengan :

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

S_1 = Stabilitas Marshall standar dengan perendaman selama 30 menit pada suhu $\pm 60^\circ\text{C}$ (kg)

S_2 = Stabilitas Marshall setelah perendaman 24 jam pada suhu $\pm 60^\circ\text{C}$ (kg)

2. Metode Pengujian Durabilitas Modifikasi

a) Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama dinyatakan dalam (r) dihitung berdasarkan persamaan berikut ini

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+t}}{t_{i+t} - t_i} \quad (2)$$

dengan :

r = Indeks penurunan Stabilitas (%)

S_{i+1} = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%)

S_i = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%)

t_i, t_{i+j} = Pengujian (jam)

Semakin landai penurunan nilai IDP maka semakin kecil kehilangan kekuatan dan semakin curam penurunan nilai IDP maka semakin besar kehilangan kekuatan atau semakin sensitif terhadap perendaman.

b) Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua dinyatakan dalam (a) dihitung berdasarkan persamaan berikut ini :

$$a = \frac{1}{2t_n} \sum_{n=0}^{n-1} (S_i - S_{i+t}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \quad (3)$$

dengan :

a = Persentase kehilangan kekuatan selama satu hari (%)

S_{i+1} = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%)

S_i = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%)

t_i, t_{i+j} = Periode perendaman, dimulai dari awal pengujian (jam)

t_n = Total perendaman (jam)

Semakin kecil nilai IDK maka semakin kecil kehilangan kekuatan dan semakin besar nilai IDK, maka semakin besar pula kehilangan kekuatannya atau semakin tidak *durable*.

Benda uji dibuat dengan campuran variasi takaran bahan tambah genteng. Genteng polimer sebagai bahan tambah (*additive*) pada agregat medium (F2) dengan ukuran lolos saringan no. 8. Variasi takaran bahan tambah (*additive*) mengacu terhadap nilai kadar aspal optimum (KAO) Metode yang digunakan untuk membuat benda uji menggunakan metode *dry mix*, karena bahan tambah (*additive*) di campurkan saat agregat di panaskan pada suhu 80°C . Benda uji dicampur dengan genteng polimer hingga homogen. Pada suhu $170^\circ\text{C} - 180^\circ\text{C}$ benda uji mempunyai tingkat homogen optimum. Sebelum di padatkan di dalam cetakan (mold) terlebih dahulu benda uji didiamkan agar suhunya turun sekitar 150°C . Kemudian ditumbuk menggunakan compactor sebanyak 75x2 tumbukan. Setelah suhu sekitar $40^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$ keluarkan benda uji dari mold menggunakan ejector. Rendam kedalam ember hingga tenggelam. Angkat benda uji setelah di rendam selama 24 jam kemudian di lakukan pengujian *Marshall* yang selanjutnya akan dianalisis untuk mendapatkan kadar polimer optimum (KPO). Analisis kadar polimer optimum (KPO) digunakan sebagai acuan pembuatan benda uji untuk mencari nilai keawetan (*durabel*). Pembuatan benda uji untuk durabilitas sama halnya dengan pembuatan benda uji untuk mencari KPO, akan tetapi takaran genteng polimer mengacu pada KPO dan direndam pada variasi lama rendaman yang telah ditetapkan yaitu 1 hari, 4 hari dan 7 hari. Kemudian di lakukan pengujian Marshall apabila benda uji telah mencapai umur rendaman masing – masing.

3. Metode Pengujian *Workability*

Mencari nilai *workability* berdasar faktor kompaksi (pemadatan) terhadap bahan perkerasan. Untuk mengetahui nilai *workability* menggunakan rumus:

$$\text{Faktor kepadatan (C)} = \frac{\text{Volume 5 tumbukan}}{\text{Volume 2x75 tumbukan}} \times 100\% \quad (4)$$

dengan:

Volume 5 tumbukan = Berat SSD – Berat dalam air

Volume 2x75 tumbukan = Berat SSD – Berat dalam air

Berat SSD = Berat benda uji kering permukaan jenuh

Berat dalam air = Berat benda uji di dalam air

Proses pembuatan benda uji untuk workabel sama halnya dengan pembuatan benda uji untuk mencari KPO, akan tetapi dilakukan variasi tumbukan yaitu 75 x 2 dan 5x tumbukan agar diperoleh nilai kepadatan. Kegiatan ini meliputi pemeriksaan bahan dan material, proses pengumpulan data (sekunder), pengolahan data, analisis data, dan pengambilan keputusan secara umum berdasarkan hasil penelitian di laboratorium.

Hasil dan Pembahasan

1. Pemeriksaan Bahan

Hasil pemeriksaan bahan agregat kasar, agregat medium, agregat halus dapat dilihat pada tabel.1

Tabel.1 Hasil Pemeriksaan Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Agregat Kasar	Agregat Medium	Agregat Halus	Syarat
1	Berat jenis bulk	2,37	2,62	2,28	-
2	Berat jenis SSD	2,38	2,34	2,38	-
3	Berat jenis semu	2,47	2,85	2,54	-
4	Penyerapan air	2,56	2,89	3,09	≤ 3

Adapun pemeriksaan agregat yang lain yaitu pemeriksaan keausan, pelapukan agregat, *sand equivalent* dapat dilihat pada Tabel.2 berikut ini:

Tabel.2 Hasil Pemeriksaan Keausan, Pelapukan, Sand Equivalent

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Syarat	Satuan
1	Keausan agregat kasar	29,14	$\leq 40\%$	%
2	Pelapukan agregat	11	$\leq 12\%$	%
3	Sand Equivalent	71,74	≥ 60	

2. Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal dengan nilai penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. Hasil Pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel.4 berikut ini :

Tabel.3 Hasil Pemeriksaan Aspal

No	Jenis Pemeriksaan	Spec	Hasil	Satuan	Keterangan
1	Penetrasi	60-70	65,9	0,1 mm	Memenuhi
2	Titik Lembek	Min 48	53,5	$^{\circ}\text{C}$	Memenuhi
3	Berat Jenis Aspal	Min 1	1,14	-	-
4	Titik Nyala	Min 232	264	$^{\circ}\text{C}$	Memenuhi
5	Titik bakar	-	281	$^{\circ}\text{C}$	Memenuhi
6	Daktilitas	Min 1000	1330	mm	Memenuhi

3. Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)

a) Penentuan kadar polimer optimum

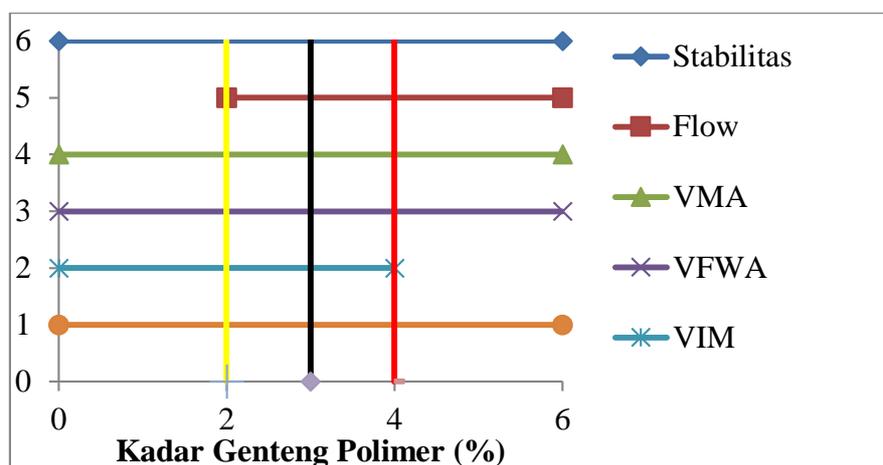
Berdasarkan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,5%, selanjutnya membuat benda uji dengan bahan tambah genteng polimer dengan variasi campuran genteng polimer yang telah ditentukan yaitu 0%, 2%, 4% dan 6% dan benda uji dilakukan pengujian *Marshall*.

Tabel V.2 Data Hasil Perhitungan *Marshall* Penentuan KPO

Kadar Genteng Polimer	VIM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	Stabilitas Kg	Flow mm	MQ Kg/mm
(Min,Max)	3-5	15-17	>65	>800	2-4	>200
	3,69	14,54	76,41	1810,71	4,07	444,89
0%	4,58	15,33	71,82	1637,51	4,25	385,30
	5,50	16,15	67,54	1186,97	4,50	263,77
Rata - rata	4,59	15,34	71,92	1582,63	4,27	364,65
2%	4,11	14,91	74,19	1758,53	3,78	465,22

Kadar Genteng Polimer	VIM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	Stabilitas Kg	Flow mm	MQ Kg/mm
	5,36	16,03	68,14	1431,28	3,43	417,28
	5,03	15,74	69,63	1464,31	4,75	308,28
Rata - rata	4,83	15,56	70,65	1551,38	3,99	396,93
	6,79	17,30	62,19	1216,09	3,60	337,80
4%	3,85	14,69	75,53	1715,93	4,00	428,98
	4,25	15,04	73,45	1288,58	3,30	390,48
Rata - rata	4,96	15,68	70,39	1406,87	3,63	385,76
	4,46	15,22	72,41	1447,13	4,05	357,32
6%	6,27	16,83	64,25	1444,86	3,25	444,57
	4,76	15,50	70,91	1396,29	3,42	408,27
Rata - rata	5,16	15,85	69,19	1429,43	3,57	403,39

Berdasarkan Tabel V.2 di atas, terlihat bahwa pada penelitian ini jumlah sample yang dibutuhkan adalah sebanyak 12 buah dengan variasi campuran genteng polimer 0% , 2%, 4% , 6% masing-masing dengan 3 buah benda uji.



Gambar 2 Grafik Kadar Polimer Optimum

Berdasarkan grafik diatas maka diperoleh persamaan dibawah ini:

$$KPO = \frac{2\%+4\%}{2} = 3\% \tag{5}$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh Kadar Polimer Optimum (KPO) sebesar 3%

b) Pengujian durabilitas benda uji standar dengan variasi rendaman.

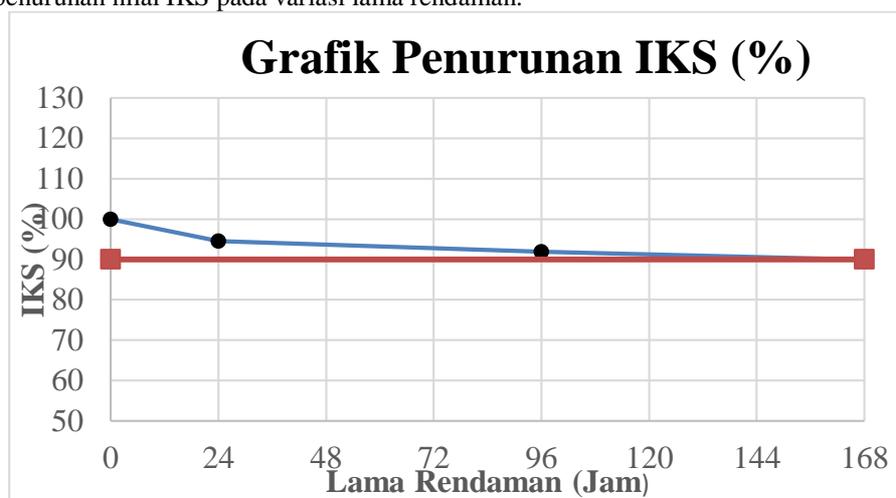
Dalam pembahasan ini menganalisis bagaimana benda uji yang dicampur dengan bahan tambah genteng polimer dengan durasi perendaman terhadap kinerja durabilitas campuran AC-WC dilihat dari nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dan nilai Indeks Durabilitas. Hasil pengujian durabilitas dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel.4 Hasil pengujian durabilitas

Sifat Marshall	Kondisi Benda Uji	Lama Perendaman (Hari)				Hasil
		0	1	4	7	
Stabilitas (Kg)	AC - WC					
	Standar dengan KPO	1448,65	1368,75	1330,32	1301,8	-
Persen Sisa Stabilitas (%)	AC - WC					
	Standar dengan KPO	100	94,48	89,86	-	
Indeks Kekuatan Sisa (IKS)						
Durabilitas Standar	AC - WC					
	Standar dengan	100	94,48	91,83	89,86	

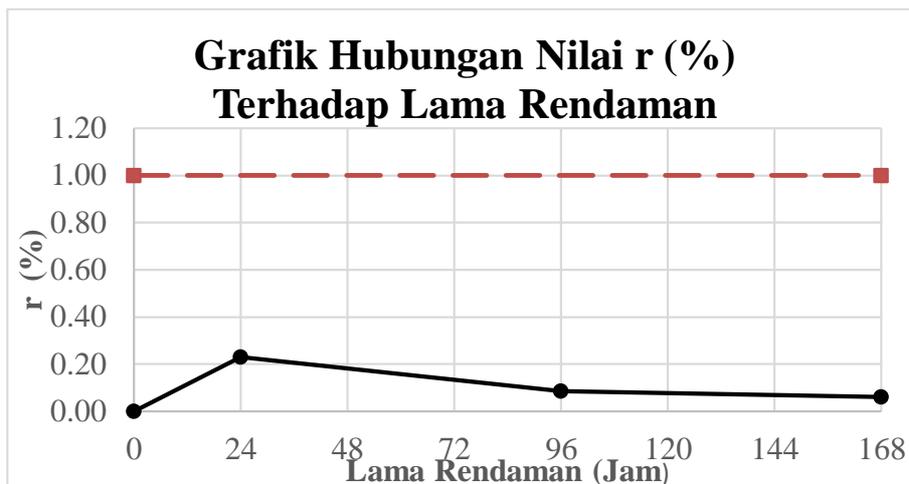
IKS (%)	KPO					
Indeks Durabilitas Pertama (IDP)						
Kelandaian r (%)	AC - WC					
	Standar dengan KPO	0,00	0,230	0,085	0,060	
Kelandaian R (%)	AC - WC					
	Standar dengan KPO	0,00	3,146	1,132	0,785	
Indeks Durabilitas Kedua (IDK)						
Kehilangan Kekuatan Selama 1 hari a (%)	AC - WC					
	Standar dengan KPO	-	5,12	1,71	0,56	7,39
Kekuatan sisa Selama 1 hari Sa (%)	AC - WC					
	Standar dengan KPO	-	100	98,29	97,73	-
A = (a/100) x S (Kg)	AC - WC					
	Standar dengan KPO	-	74,2	24,71	8,15	32,85
SA = S0 - A	AC - WC					
	Standar dengan KPO	-	1374,46	1349,75	1341,6	-

a) Pengujian durabilitas benda uji standar dengan variasi rendaman
Berikut grafik penurunan nilai IKS pada variasi lama rendaman.



Gambar.3 Grafik Hubungan Nilai IKS pada Variasi Rendaman

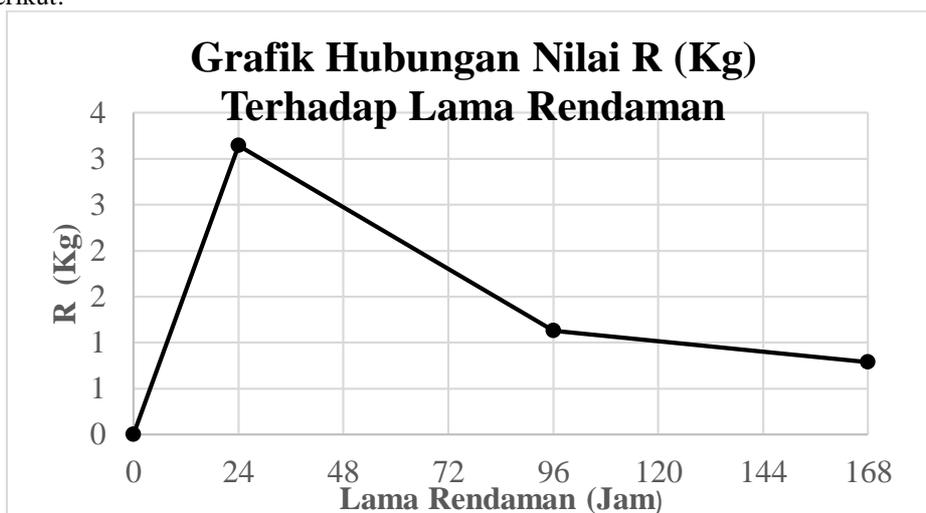
Nilai IKS 1 mengalami penurunan, yang menunjukkan bahwa nilai IKS berada dibawah batas minimal yang ditetapkan Bina Marga, (2010), yaitu 90%. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran benda uji dengan genteng polimer, dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh air dan penuaan yang terjadi pada campuran yang menjadikan aspal dalam campuran getas dan mudah retak. Nilai IKS yaitu 0 x 24 jam sampai 4 x 24 jam. Kemudian turun pada rendaman 7 x 24 jam sehingga tidak memenuhi syarat. Turunnya IKS menyimpulkan bahwa kehilangan kekuatan benda uji akibat lama rendaman akan semakin besar. Berikutnya Indeks Durabilitas Pertama yang dinyatakan dalam (r) / penurunan stabilitas (IDP) dan (a) / kehilangan kekuatan (IDK) yang mengalami penurunan dapat dilihat pada grafik hubungan nilai r (%) terhadap lama rendaman Gambar 4 berikut ini.



Gambar. 4 Grafik Hubungan Nilai r (%) Terhadap Lama Rendaman (Jam)

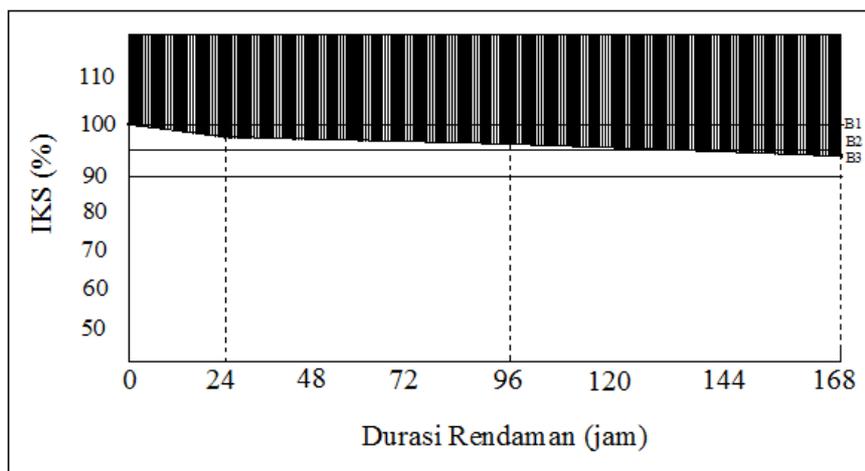
Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa nilai IDP (r) mengalami kenaikan dan penurunan. Dimana pada rendaman 24 jam mengalami kenaikan yang menandakan kehilangan kekuatan yang di alami campuran beton aspal . sedangkan pada durasi 4 hari (96 jam) sampai 7 hari (168 jam) mengalami penurunan yang menandakan bahwa berkurangnya kehilangan kekuatan pada campuran beton aspal. Kehilangan kekuatan masih pada batas spesifikasi (1%) dan dapat dikatakan masih durabel.

Nilai kehilangan kekuatan (R) dapat juga di analisis dengan nilai absolut kehilangan kekuatan seperti pada Gambar 5 berikut:



Gambar.5 Hubungan Nilai R (Kg) Terhadap Lama Rendaman (Jam)

Gambar 5 merupakan nilai absolut rata – rata kehilangan kekuatan dalam satu hari (R) terhadap lama rendaman dalam satuan kilogram (kg). Kehilangan kekuatan total diperoleh pada lama rendaman 168 jam. Berikut grafik kekuatan sisa terhadap lama rendaman campuran aspal beton AC – WC dengan genteng polimer.



Gambar.6 Grafik Kekuatan Sisa Terhadap Lama Rendaman (jam)

Dari Gambar diatas, dapat disimpulkan bahwa bidang B1 dari awal durasi perendaman yaitu 24 jam luasannya menunjukkan kehilangan kekuatan beton aspal 860.44 dengan satuan total waktu rendaman selama 168 jam (7 x 24 jam). Bidang B1 mengalami kehilangan kekuatan sebesar 74.20 kg dari rentang 168 jam. Kemudian bidang B2 menunjukkan luasan yang kehilangan kekuatan beton aspal pada masa rendaman 96 jam (4 x 24 jam) dengan total luasan sebesar 286.51 dengan total durasi perendaman 168 jam (7 x 24 jam) atau ekuivalen dengan nilai absolut kehilangan kekuatan rerata selama satu hari (A, kg) sebesar 24.71kg dari waktu total perendaman yaitu 168 jam (7 x 24 jam). Selanjutnya untuk B3 dapat dilihat pada tabel 5.14 diatas.

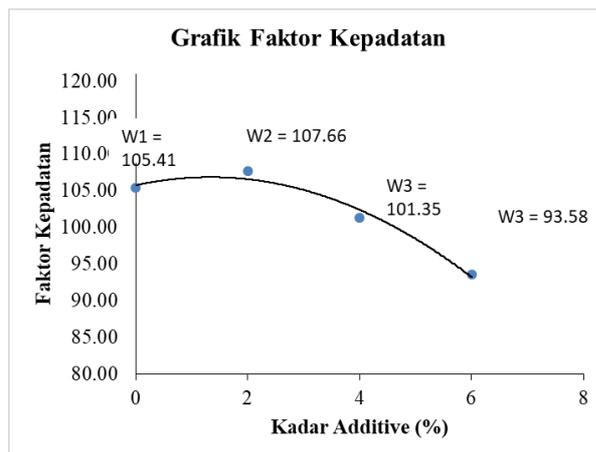
c) Pengujian *workability* benda uji standar dengan variasi tumbukan

Kemudahan dalam pelaksanaan atau disebut dengan *workability* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu atau *temperature* saat pematangan serta material pengisi didalam campuran. Hasil pengujian *workability* dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian Workability

Benda uji	Berat SSD		Berat dalam air		Berat kering udara		Volume 5x tumb	Volume 150 x tumb	Faktor Kepadatan	Rata - Rata
	5x tumb	150 tumb	5x tumb	150x tumb	5x tumb	150x tumb				
0	1249	1235	625	660	1222	1256	624	575	109	105,41
	1262	1249	644	663	1233	1245	618	587	105	
	1274	1263	662	665	1243	1234	612	598	102	
2	1244	1253	646	688	1206	1256	598	565	106	107,66
	1264	1230	662	673	1227	1217	602	557	108	
	1279	1202	678	651	1234	1188	601	551	109	
4	1241	1262	664	694	1233	1246	577	568	102	101,35
	1256	1272	670	698	1234	1249	586	574	102	
	1261	1275	667	688	1231	1247	594	587	101	
6	1252	1234	675	660	1220	1225	577	574	101	93,58
	1213	1246	680	673	1180	1234	533	573	93	
	1173	1257	665	675	1140	1242	508	582	87	

Faktor kepadatan dapat dilihat pada kurva keawetan Gambar 6 berikut ini.



Gambar.6 Kurva Faktor Kepadatan

Terlihat bahwa faktor kepadatan mencapai batas spesifikasi oleh Bina Marga. Pada takaran 2% nilai faktor kepadatan lebih tinggi dari pada takaran yang lain, hal ini menandakan campuran ini lebih mudah dipadatkan yang berarti mempermudah pelaksanaannya dilapangan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, bahan tambah (additive) genteng polimer cukup signifikan berpengaruh terhadap tingkat keawetan (durabilitas) maupun *workabilitas* pada campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC - WC)*. Beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini dapat dilihat bahwa keawetan atau nilai durabilitas campuran *AC - WC* dengan bahan tambah (*additive*) genteng polimer kurang memuaskan. Hal ini ditinjau dari tiga kurva keawetan yang menyatakan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) yang nilainya menurun dibawah batas minimal yang ditetapkan oleh bina marga selama bertambahnya durasi perendaman.
2. Pada campuran bahan tambah genteng polimer pada *AC - WC* dapat disimpulkan bahwa *workabilitas* campuran paling tinggi pada takaran 2% genteng polimer, dibandingkan dengan takaran lain.
3. Genteng polimer memiliki pengaruh yang tidak terlalu tinggi untuk campuran lapis perkerasan aspal.

Daftar Pustaka

- Bina Marga. 2007. Pemeriksaan Peralatan Unit Pencampur Aspal Panas (*Asphalt Mixing Plant*). Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga : Jakarta.
- Bina Marga. 2010. Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Revisi 3. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga : Jakarta.
- Diansari, Sepriskha. 2016. Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik *Low Linear Density Poly Ethylene (LLDPE)* Ditinjau dari Karakteristik Marshall dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (*AC - BC*). Sripsi. Lampung: Universitas Lampung.
- Dwikusuma. 2014. Mengenal Konstruksi Lapisan Jalan (online), (<https://dwikusumadpu.wordpress.com/2014/02/09/mengenal-konstruksi-lapisan-aspal/>), diakses tanggal 18 Februari 2019)..
- Novrianto, Ignatius Bayu. A. 2016. Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Aspal *AC - WC* dengan *Filler* Gypsum. Laporan Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Putrowijoyo, Rian. 2006. Kajian Laboratorium Sifat *Marshall* dan Durabilitas *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC - WC)* dengan Membandingkan Penggunaan Antara Semen *Portland* dan Abu Batu Sebagai *Filler*. Tesis. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Ramdhan, Alfian F. 2018. Analisis *Workabilitas* dan Durabilitas Material *Split Mastic (SMA) Grading 0/11* Pada Gradasi Batas Atas, Batas Bawah dan Batas Tenga. Tugas Akhir. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Subagio, Bambang Sugeng. 2015. *Development of Asphalt Pavement Temperature Model Climate Condition for Bali Region Indonesia*. Bali: *Journal Eastern Asia Society for Transportation Studies*.
- Sukirman, S., 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Bandung.
- Sukirman, S., 2012. Beton Aspal Campuran Panas. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Suryatman, Fransiskus. 2009. Pengaruh Penggunaan Botal Plastik Sebagai Bahan Tambah (*Additive*) Terhadap Karakteristik Beton Aspal. Laporan Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya Yogyakarta.