

Evaluasi Kinerja Pengujian Marshall dari Campuran LASTON Daur Ulang AC-WC pada *Unit Asphalt Mixing Plant* terhadap Hasil Pengujian Laboratorium

Supranowo (*)

Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro, Semarang, 50275, Indonesia, E-mail: supranowo@gmail.com

Bagus Hario Setiadji

Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro, Semarang, 50275, Indonesia, E-mail: bhsetiadji@ft.undip.ac.id

SPR Wardani

Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro, Semarang, 50275, Indonesia, E-mail: wardani_spr@yahoo.com

Abstrak

Produksi hotmix daur ulang sebagian bahannya menggunakan batu dan aspal daur ulang yang berasal dari Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). Untuk menghasilkan campuran beraspal panas yang baik diperlukan suatu proses untuk memastikan hasil produksi dari AMP sesuai dengan job mix formula. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi kinerja hotmix daur ulang AC-WC ($AC-WC_{RAP}$) pada skala laboratorium dengan kinerja Marshall dan hasil pencampuran di AMP. Kinerja Marshall dilakukan terhadap semua kriteria sesuai Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Daur Ulang 2019, sedangkan kinerja produksi di AMP dilihat dari konsistensinya terhadap parameter kinerja di laboratoriumnya. Dari pencampuran di laboratorium dan hasil uji produksi, semua parameter karakteristik Marshall pada kadar aspal optimum untuk campuran $AC-WC_{RAP}$ mulai dari RAP 20%, RAP 30% dan RAP 40% dapat memenuhi persyaratan spesifikasi. Pada $AC-WC_{RAP}$ dengan RAP 50%, terdapat parameter yang tidak memenuhi spesifikasi yaitu pada nilai Stabilitas Marshall Sisa. Dari 15 batch sampel uji produksi terdapat 3 batch sampel yang nilai stabilitas Marshall Sisa berada di bawah batas persyaratan yaitu pada batch ke-6 (89,72%), batch ke-9 (89,98%) dan batch ke-12 (89,77%). Hotmix $AC-WC_{RAP}$ pada pencampuran di AMP dengan proporsi RAP 20% sampai dengan RAP 40% dapat digunakan untuk lapis aus perkerasan jalan karena semua parameter karakteristik campurannya memenuhi persyaratan spesifikasi.

Kata kunci: Hotmix daur ulang, kinerja marshall, reclaimed asphalt pavement, stabilitas marshall sisa.

Abstract

The production of recycled hotmix uses partially recycled stone and asphalt from Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). To produce a good hot mix asphalt, a process is needed to ensure the production of AMP is in accordance with the job mix formula. This study was intended to evaluate the performance of the recycled hotmix AC-WC ($AC-WC_{RAP}$) on a laboratory scale with Marshall performance and mixing results in AMP. Marshall's performance was carried out against all criteria according to the 2019 Recycled Hot Asphalt Mixture Specification, while the production performance at AMP was seen from its consistency with performance parameters in its laboratory. From the mixing in the laboratory and the results of production tests, all Marshall characteristics parameters at the optimum asphalt content for $AC-WC_{RAP}$ mixtures ranging from RAP 20%, RAP 30% and RAP 40% can meet the specification requirements. In $AC-WC_{RAP}$ with 50% RAP, there are parameters that do not meet the specifications, namely the Marshall Remaining Stability value. Of the 15 production test sample batches, there were 3 sample batches whose Marshall Residual stability values were below the required limit, namely in the 6th batch (89.72%), the 9th batch (89.98%) and the 12th batch (89.77%). Hotmix $AC-WC_{RAP}$ on mixing in AMP with a proportion of RAP 20% to RAP 40% can be used for road pavement because all the parameters of the characteristics of the mixture meet the specifications.

Keywords: Recycled hot mix, marshall test, reclaimed asphalt pavement, remain marshall stability.

1. Pendahuluan

Di tengah persaingan perusahaan konstruksi yang semakin ketat, maka harus bisa dibuat suatu produk yang unggul dalam kualitas dan dengan harga yang lebih rendah. Salah satunya adalah dengan

memproduksi hotmix daur ulang dimana sebagian bahannya menggunakan agregat dan aspal daur ulang yang berasal dari *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dengan menggunakan unit produksi campuran aspal yang menggunakan teknologi *Hot Recycling*. Dikarenakan RAP terdiri dari komponen yang sama

*Penulis Korespondensi

dengan komponen *hotmix* konvensional (*fresh hotmix*) yaitu terdiri dari agregat batuan dan aspal, maka RAP ini akan dengan mudah bisa dimasukkan ke dalam campuran yang baru. Material RAP adalah material hasil dari pengupasan lapisan perkerasan aspal yang rusak pada proses perbaikan jalan. Perbaikan jalan pada saat ini banyak dilakukan dengan mengupas lapisan perkerasan aspal lama yang sudah rusak dengan memakai alat *Cold Milling Machine*. Hasil kupasan tersebut dibuang ke lokasi tertentu dan kadang hanya digunakan sebagai material timbunan. Hal yang perlu dicermati adalah, apakah aspal yang berasal dari RAP masih bisa memenuhi persyaratan agar *hotmix* daur ulang yang diproduksi masih bisa memenuhi Spesifikasi Khusus Interim Bina Marga 2019. Aspal yang terkandung dalam RAP adalah aspal yang sudah terpengaruh oleh perubahan cuaca dan udara selama masa pemakaian jalan, sehingga secara properti sudah tidak memenuhi spesifikasi lagi. Aspal yang berasal dari RAP sudah mengalami oksidasi dan mempunyai nilai viskositas yang tinggi, sehingga aspal bersifat lebih kaku dibanding aspal yang masih murni atau *fresh*. Meremajakan aspal yang sudah mengalami penuaan adalah langkah praktis untuk mengembalikan sifat-sifat aspal ke kondisi menyerupai sifat-sifat aspal *fresh* (Moghaddam and Baaj, 2016). *Rejuvenator* dapat mengembalikan sifat fisik aspal yang berasal dari RAP sehingga dapat memenuhi sifat fisik aspal sesuai spesifikasi yang diharapkan (Kaseer et al., 2018).

Untuk menghasilkan campuran beraspal panas daur ulang yang baik, diperlukan suatu teknologi untuk memastikan gradasi agregat serta kadar aspal campuran daur ulang sesuai dengan rumusan campuran beraspal panas (*job mix formula*) dan untuk memastikan temperatur pencampuran sesuai dengan persyaratan (Henrikas et al., 2017). Pada saat ini di Jakarta sudah ada alat pencampur aspal (AMP) yang dapat memproduksi *hotmix* daur ulang dengan menggunakan teknologi *Hot Recycling*. Teknologi *Hot Recycling* adalah memproduksi *hotmix* daur ulang dengan menggunakan alat pencampur aspal (AMP) dimana alat AMP tersebut mempunyai dua unit drum pemanas. Satu unit drum pemanas digunakan untuk memanaskan agregat baru dan satu unit drum pemanas yang lain digunakan untuk memanaskan material RAP. Tujuan memanaskan RAP adalah untuk mengurangi kadar air dalam RAP dan untuk membuat bitumen dalam RAP bisa menjadi cair, sehingga campuran di dalam AMP bisa menjadi homogen.

Agar dapat diperoleh campuran *hotmix* daur ulang yang bisa memenuhi persyaratan spesifikasi perlu dibuat kajian tertentu sehingga hasil kajian ini bisa dijadikan dasar dalam membuat *job mix formula hotmix recycling*. Sampai saat ini masih banyak pengguna jasa yang masih meragukan kinerja *hotmix recycling* baik ditinjau dari sisi *durability* maupun dari sisi *workability*, sehingga sampai saat ini *hotmix recycling* belum banyak digunakan pada proyek-proyek pemerintah. Anggapan bahwa *hotmix* daur ulang merupakan *hotmix* yang dibuat dari material limbah bekas lapisan *hotmix* yang sudah usang adalah salah satu penyebab yang membuat pengguna jasa meragukan kualitas *hotmix* daur ulang. Serangkaian tes kinerja di laboratorium perlu dilakukan

untuk memprediksi apakah *hotmix recycling* tersebut bisa memenuhi persyaratan untuk menjawab isu tentang keawetan dan ketahanan serta *workability hotmix recycling* tersebut.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi atas kinerja *hotmix* daur ulang AC-WC (AC-WC_{RAP}) hasil pencampuran di unit pencampur aspal, mengacu pada persyaratan yang tercantum dalam Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Daur Ulang Pencampuran di Unit Produksi Campuran Aspal 2019.

2. Campuran Beraspal Panas Daur Ulang

Campuran beraspal panas daur ulang adalah campuran beraspal panas dimana dalam prosesnya menggunakan bahan perkerasan aspal hasil reklamasi (RAP) dikombinasikan dengan bahan-bahan baru dan pada kondisi tertentu menggunakan bahan tambahan untuk menghasilkan campuran beraspal panas yang baru. Daur ulang perkerasan beraspal menciptakan siklus penggunaan kembali material bekas, sehingga bisa mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam. Konservasi lingkungan dan energi tercapai ketika dua komponen utama yaitu aspal dan agregat digunakan kembali sebagai bahan konstruksi untuk perkerasan beraspal. Keuntungan utama penggunaan RAP adalah :

- a. Biaya lebih rendah.
- b. Pengurangan dalam konsumsi dan penggunaan sumber daya alam.
- c. Pengurangan kerusakan pada jalan-jalan lain karena pengangkutan material dari lokasi tambang.
- d. Tidak diperlukan peninggian trotoar dan bangunan di sekitar jalan di jalan perkotaan.
- e. Dengan proses transportasi diminimalkan maka bisa menghemat energi akibat berkurangnya konsumsi bahan bakar.

Campuran beraspal panas daur ulang mempunyai daya tahan yang baik terhadap risiko kerusakan akibat air pada penggunaan RAP dengan persentase yang rendah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa keberadaan RAP dalam campuran beraspal panas daur ulang dapat meningkatkan kekakuan dari campuran.

Sama seperti halnya pada campuran beraspal panas konvensional, campuran beraspal panas daur ulang harus dirancang dengan benar untuk memastikan kinerja yang tepat. Dengan melakukan proses pembuatan rumusan campuran dengan baik, maka campuran beraspal panas daur ulang dapat memiliki sifat yang serupa dengan campuran beraspal panas konvensional baru. Campuran beraspal panas konvensional baru adalah campuran beraspal panas yang dibuat dari material agregat dan aspal yang belum tercampur dengan material hasil daur ulang. Biaya konstruksi dengan menggunakan campuran beraspal panas daur ulang akan lebih ekonomis dibandingkan dengan campuran beraspal panas konvensional. Penghematan biaya yang terjadi berkisar antara 12,1% - 54,6% sesuai dengan jenis campurannya.

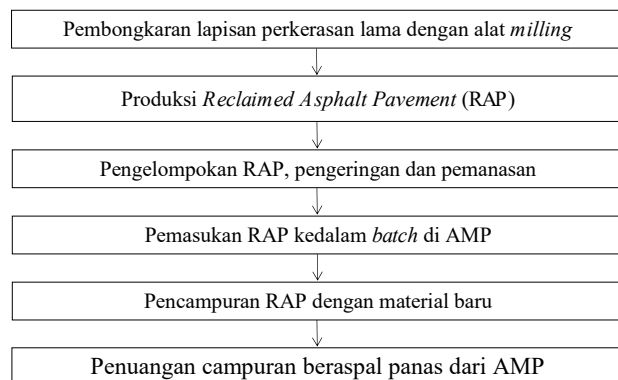
2.1 Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) telah digunakan sebagai substitusi komponen bahan dari campuran beraspal aspal baru di berbagai negara (Mamdooh et al., 2019). Survei yang dilakukan di Amerika Serikat yang dilakukan oleh *National Asphalt Pavement Association* (NAPA) memperkirakan bahwa 71,9 juta ton RAP yang dihasilkan pada tahun 2014 digunakan untuk campuran beraspal panas. RAP dihasilkan dari hasil pengupasan permukaan lapis perkerasan aspal. Pengupasan terhadap lapisan permukaan aspal dilakukan karena pada lokasi tersebut akan dilakukan perbaikan atas kerusakan yang timbul pada lapisan permukaan jalan. Agar material RAP bisa dipakai dalam campuran beraspal panas maka RAP harus diproses dengan alat tertentu agar ukurannya sesuai untuk digunakan sebagai komponen campuran aspal baru. RAP terdiri dari komponen yang sama dengan campuran beraspal panas baru yaitu terdiri dari komponen agregat dan komponen aspal. Karena RAP memiliki komponen yang sama dengan komponen pada campuran beraspal panas baru maka RAP dapat dengan mudah dimasukkan ke dalam campuran baru.

Reclaimed Asphalt Pavement RAP mempunyai manfaat secara ekonomi karena material RAP ini dapat digunakan kembali, sehingga mengurangi kebutuhan untuk membeli dan bahan baru dan aspal baru. Selain manfaat ekonomi, penggunaan RAP dalam campuran aspal juga memiliki manfaat lingkungan. Penggunaan kembali sumber daya seperti RAP mengurangi penipisan sumber daya alam yang tidak terbarukan, seperti agregat baru dan aspal baru. Jumlah pemakaian aspal juga dapat dikurangi dalam campuran beraspal panas dengan menggunakan bahan perkerasan aspal hasil reklamasi (RAP). Studi telah mengungkapkan bahwa kinerja perkerasan beraspal panas dengan menggunakan hingga 30% bahan RAP mirip dengan perkerasan beraspal panas yang dibangun dengan menggunakan agregat alami tanpa bahan RAP. Beberapa kajian mengindikasikan bahwa penggunaan presentase RAP dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kinerja campuran beraspal panas.

2.2 Proses daur ulang campuran beraspal panas menggunakan AMP

Langkah pelaksanaan daur ulang campuran beraspal panas terdiri dari beberapa langkah dasar seperti yang terlihat pada skema yang terdapat pada **Gambar 1** (Henrikas et al., 2017). Proses pembongkaran lapisan

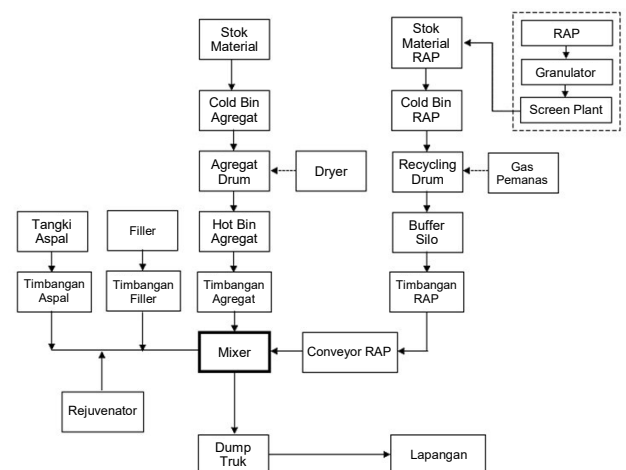


Gambar 1. Langkah proses daur ulang perkerasan aspal

perkerasan aspal lama biasanya dilakukan dengan mengupas lapisan perkerasan menggunakan alat *Cold Milling Machine*. Material RAP harus diolah agar ukuran material RAP bisa mendekati sama dengan ukuran butiran agregat baru. Proses pengecilan ukuran material RAP dilakukan dengan menggiling material RAP memakai alat granulator. Material RAP hasil dari proses pengecilan ukuran, selanjutnya disaring dengan menggunakan alat saringan mekanis dan ditumpuk di lokasi tempat penumpukan bahan serta dikelompokkan sesuai dengan ukuran materialnya. Tumpukan material RAP dengan ukuran butiran maksimum 19 mm bisa dipakai untuk membuat campuran beraspal panas daur ulang tipe AC-WC. Tumpukan material RAP dengan maksimum ukuran butiran agregat 25 mm, digunakan untuk membuat campuran beraspal panas daur ulang tipe AC-BC. Material RAP harus dikontrol kadar airnya agar proses pengeringan material RAP bisa berlangsung dengan baik dan bisa menghasilkan campuran beraspal panas daur ulang yang berkualitas baik. Untuk menjaga kadar air dalam material RAP maka tumpukan material RAP harus ditutup dengan penutup terpal atau atap.

Untuk menghasilkan campuran beraspal panas daur ulang yang baik, diperlukan suatu teknologi untuk memastikan gradasi agregat serta kadar aspal campuran daur ulang sesuai dengan rumusan campuran beraspal panas (*job mix formula*) dan untuk memastikan temperatur pencampuran sesuai dengan tingkat jenis aspal yang digunakan (Henrikas et al., 2017). Proses pembuatan campuran beraspal panas di unit produksi pencampur aspal secara terinci dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Dari skema yang ada di **Gambar 2** terlihat bahwa material RAP dipanaskan pada drum pemanas yang berbeda dengan drum pemanas yang dipakai untuk mengeringkan dan memanaskan agregat baru. Agar unit produksi pencampur aspal yang bisa memproduksi campuran beraspal panas daur ulang dengan kualitas yang memenuhi syarat maka alat unit produksi (AMP) harus punya dua buah drum pemanas. Agregat baru dipanaskan dan dikeringkan pada drum pemanas khusus agregat baru sampai mencapai temperatur di kisaran 170 °C. Besaran temperatur pemanasan agregat



Gambar 2. Skema produksi campuran beraspal panas daur ulang

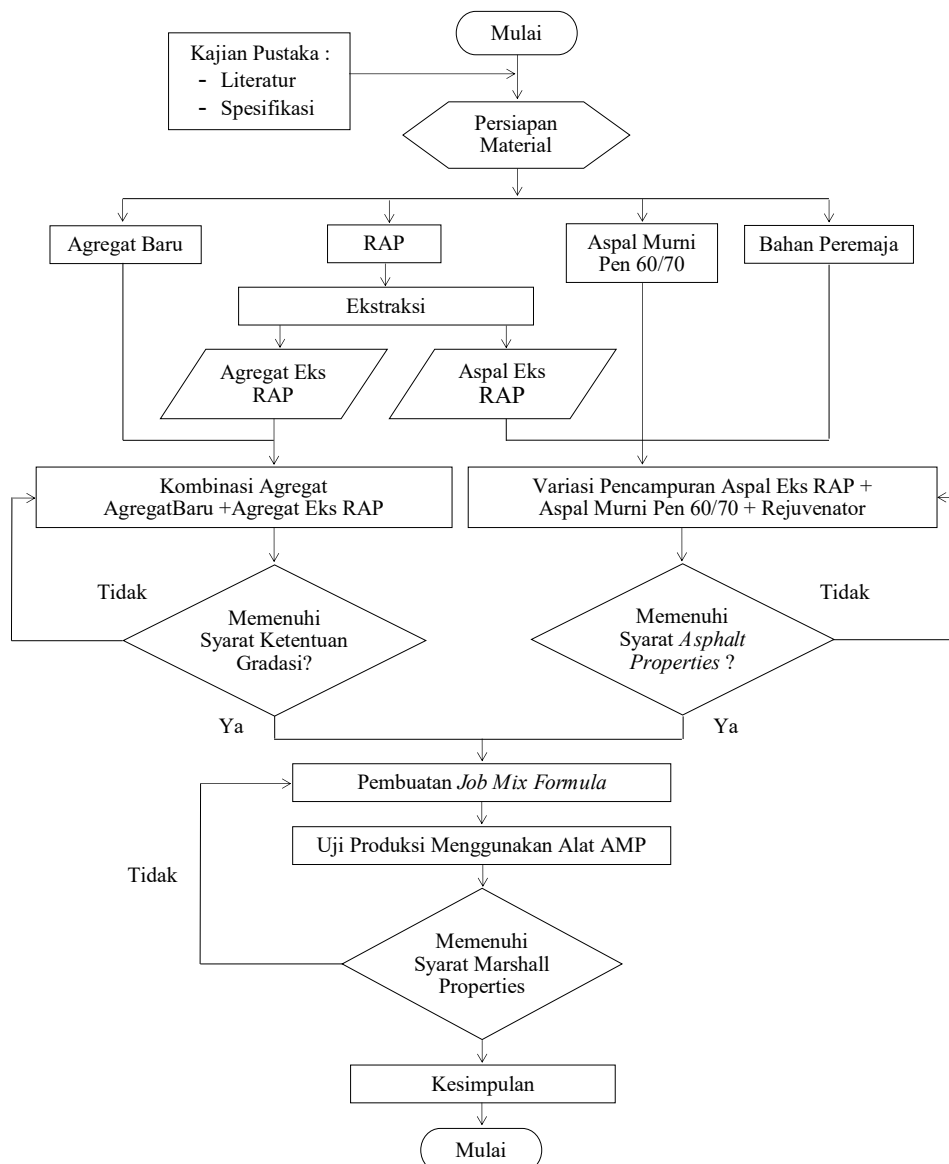
ditentukan berdasarkan tingkat jenis aspal baru yang dipakai dalam campuran beraspal panas daur ulang. Material RAP dipanaskan dan dikeringkan dengan menggunakan drum pemanas yang lain. Lidah api pemanas dalam drum pemanas RAP tidak boleh mengenai langsung ke material RAP. Proses pemanasan adalah dengan mengalirkan udara panas yang dihasilkan dari drum pengering agregat. Material RAP dipanaskan sampai mencapai panas 140 °C. Material RAP yang keluar dari drum pengering dibawa ke *mixer* AMP dan dicampur dengan agregat baru yang sudah dipanaskan dari drum pemanas yang lain dan ditimbang sesuai proporsi yang tercantum pada *job mix formula*. Aspal baru dan bahan peremaja disemprotkan kedalam *mixer* yang sudah terisi material RAP dan agregat baru untuk selanjutnya diaduk selama 40 detik. Setelah proses pengadukan selesai maka campuran beraspal panas daur ulang dituang ke truk pengangkut dan selanjutnya dibawa ke lapangan untuk proses penghamparan.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian di laboratorium dilakukan dengan melakukan serangkaian pengujian terhadap properti *hotmix* daur ulang hasil pencampuran pada saat pembuatan rumusan campuran kerja (*job mix formula*) dan juga terhadap *hotmix recycling* hasil pencampuran dengan menggunakan alat AMP dengan teknologi *hot recycling*. *Hotmix* panas daur ulang pada penelitian ini menggunakan zat tambahan bahan peremaja. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah RAP yang berasal dari hasil pengupasan lapisan perkerasan aspal di Jalan Jati Baru Raya (Tanah Abang, Jakarta), bahan peremaja dengan merk Iterlene (Interchemica, Italia), aspal pen 60/70 dan agregat baru. Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3**.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil pengujian agregat



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Hasil pengujian agregat

No	Pengujian	Spesifikasi	Satuan	Material Agregat		
				(0 - 5 mm)	(5 - 14 mm)	(14 - 25 mm)
1	Lolos saringan No. 200	Maks. 10	%	11,10		
2	<i>Sand Equivalent</i>	Min. 50	%	76,22		
3	Berat isi agregat		gr/cm ³	1,40		
4	<i>Specific Gravity</i>			2,577	2,589	2,614
5	Penyerapan air	Maks. 3	%	2,25	1,940	1,780
6	Kelekatan agregat terhadap aspal	Min. 95	%		98,500	98,500
7	Keausan (Abrasi)	Maks. 40	%		23,120	22,360
8	Indeks Kepipihan	Maks. 10	%		5,320	4,980

Tabel 2 Hasil pengujian aspal pen 60/70

No	Keterangan	Spesifikasi	Satuan	Hasil		Rata-Rata
				I	II	
1	Penetrasi pada 25°C	60-70	0,1 mm	64,2	64	64,10
2	Penetrasi pada 25°C setelah kehilangan berat	≥ 54	0,1 mm	57,8	58	57,90
3	Titik lembek	≥ 48	°C	50,2	50,5	50,35
4	Titik nyala	≥ 232	°C		332	
5	Titik bakar		°C		346	
6	Daktilitas	≥ 100	Cm	> 100	>100	>100
7	Kelarutan dalam CCL 4	≥ 99	%		99,55	

Tabel 3 Hasil Pengujian Material RAP

No	Uraian	Satuan	Rata-rata
1	Kadar aspal	%	5,30
2	Keausan (abrasi)	%	24,04

Pada **Tabel 1**, material lolos saringan No. 200 pada agregat 0-5 mm melebihi dari persyaratan spesifikasi. Material agregat 0-5 mm tetap digunakan karena agregat yang tersedia di pasar pada daerah Jakarta hanya tersedia material dengan gradasi tersebut.

4.2 Hasil pengujian aspal pen 60/70

Aspal baru yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal pen 60/70. Pengujian di Laboratorium dilakukan untuk mendapatkan karakteristik aspal. Hasil pengujian aspal dapat dilihat pada **Tabel 2**.

4.3 Hasil pengujian material RAP

Material RAP diambil dari stok material RAP dengan mengambil sampel sebanyak 15 sampel yang diperoleh dari 15 titik lokasi pengambilan sampel. Pengujian ekstraksi dilakukan untuk memisahkan agregat dan aspal yang terkandung pada material RAP. Dari hasil ekstraksi akan diperoleh kadar aspal RAP dan agregat dari RAP (agregat RAP). Tes analisis saringan dan tes abrasi dilakukan terhadap material agregat RAP. Tes analisis saringan dilakukan sebanyak 15 kali dari 15 sampel agregat RAP. Tes penyulingan (metode Abson) terhadap larutan hasil ekstraksi dilakukan untuk mendapatkan aspal dari RAP (aspal RAP). Hasil pengujian terhadap material RAP dapat dilihat pada **Tabel 3**.

4.4 Hasil Pengujian Analisis Saringan Material RAP

Pada analisis saringan material RAP diketahui bahwa gradasi material tidak memenuhi spesifikasi gradasi AC-WC, terlihat pada material lolos ukuran saringan 3/8" dan material lolos saringan #4 diluar dari rentang persyaratan spesifikasi. Hasil pengujian analisis saringan material RAP dapat dilihat pada **Tabel 4**.

4.5 Hasil pengujian aspal RAP

Pada **Tabel 5** dapat dilihat bahwa nilai penetrasi dan nilai daktilitas aspal yang berasal dari RAP, hasilnya tidak sesuai dengan spesifikasi aspal pen 60/70 dan perlu dilakukan suatu tindakan lanjutan agar aspal RAP tersebut dapat masuk dalam rentang spesifikasi aspal pen 60/70.

4.6 Nilai penetrasi aspal gabungan terhadap bahan peremaja

Kadar pemakaian bahan peremaja untuk masing-masing varian porporasi ditentukan berdasarkan hasil uji coba sejauh mana penambahan bahan peremaja tersebut dapat menghasilkan campuran aspal gabungan sesuai dengan sifat aspal pen 60/70. Kadar bahan peremaja yang digunakan untuk mencapai minimum nilai penetrasi 60 (0,1 mm) agar sesuai dengan spesifikasi aspal pen 60/70 dapat dilihat pada **Tabel 6**.

4.7 Karakteristik aspal gabungan

Penambahan bahan peremaja ke aspal yang sudah teroksidasi dapat membuat sifat fisik aspal yang sudah teroksidasi tersebut terpulihkan sifat fisik aspalnya sesuai kinerja yang diharapkan pada spesifikasi. Efektifitas pengaruh bahan peremaja pada aspal RAP

tergantung pada sejumlah faktor seperti jenis bahan peremaja yang dipakai, jumlah aspal RAP yang didaur ulang dan kadar bahan peremaja. Kinerja sifat-sifat fisik aspal gabungan dengan kadar pemakaian bahan peremaja untuk masing-masing varian persentase aspal RAP dapat dilihat pada **Tabel 7**. Berdasarkan **Tabel 7** maka dapat dilihat bahwa sifat fisik aspal gabungan hasil pencampuran aspal RAP aspal pen 60/70 dan bahan peremaja dengan variasi kadar RAP 20%, 30%, 40%, 50% dan pemakaian kadar bahan peremaja yang tepat akan menghasilkan aspal yang memenuhi spesifikasi aspal pen 60/70.

4.8 Kadar aspal optimum AC-WC_{RAP}

Kadar aspal optimum untuk campuran AC-WC_{RAP} dengan kandungan persentase RAP 20%, RAP 30%, RAP 40% dan RAP 50% bisa dilihat pada **Gambar 4**. Semakin tinggi persentase RAP yang digunakan, semakin besar kadar aspal optimumnya.

4.9 Karakteristik AC-WC_{RAP} pada kadar aspal optimum

Job Mix Formula campuran beraspal panas AC-WC_{RAP} dibuat untuk menjadi acuan dalam proses produksi pada unit pencampur aspal (AMP) dengan persentase RAP 20%, RAP 30%, RAP 40% dan RAP 50%. Protokol test Marshall dilakukan untuk mencari perkiraan kadar aspal optimum campuran AC-WC_{RAP}. Karakteristik Marshall campuran dari setiap varian persentase RAP pada kondisi kadar aspal optimum

Tabel 4. Hasil pengujian analisis saringan material RAP

Ukuran Saringan	Berat Sampel Kumulatif Tertahan (gram)	RAP		Spesifikasi
		Kumulatif Tertahan (%)	Kumulatif Lolos (%)	
1"	0,00	0,00	100,00	100
3/4"	0,00	0,00	100,00	100
1/2"	25,43	1,99	98,01	90-100
3/8"	96,42	7,74	92,26	77-90
#4	393,16	30,87	69,13	53-69
#8	619,82	49,91	50,09	33-53
#16	784,11	63,32	36,68	21-40
#30	886,69	71,55	28,45	14-30
#50	984,25	79,53	20,47	9-22
#100	1075,82	86,75	13,25	6-15
#200	1140,67	92,16	7,84	4-10

Tabel 5. Hasil pengujian aspal RAP

No	Keterangan	Spesifikasi Aspal Pen 60/70	Satuan	Hasil			Rata-Rata
				I	II	III	
1	Penetrasi Aspal	60-70	0,1 mm	17,73	18,67	18,33	18,24
2	Titik Lembek	≥ 48	°C	77	76,50	76,50	76,67
3	Daktilitas	≥ 100	Cm	10,25	10,75	10,50	10,50

Tabel 7. Karakteristik aspal gabungan hasil pencampuran aspal RAP, aspal pen 60/70 dan bahan peremaja.

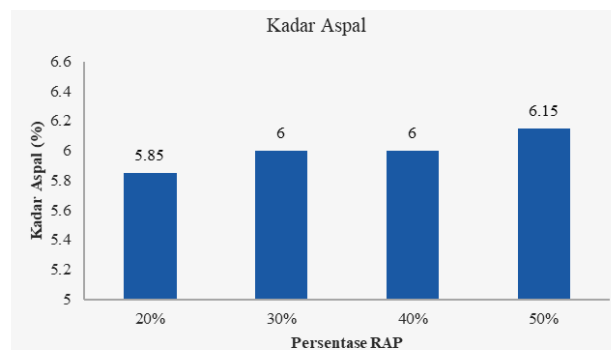
No	Jenis Pengujian Aspal Keras	Spesifikasi	Satuan	Hasil Uji			
				RAP 20%	RAP 30%	RAP 40%	RAP 50%
1	Penetrasi pada suhu 25°C	60-70	0,1 mm	61,78	61,56	61,22	63,22
2	Titik lembek	≥ 48	°C	55,5	54,50	55	53
3	Daktilitas	≥ 100	Cm	135	130,5	127,5	122
4	Berat Jenis Aspal	≥ 1,0	Kg/m3	1,038	1,043	1,043	1,052

Tabel 6. Nilai penetrasi dan kadar bahan peremaja pada setiap varian RAP

RAP	Bahan Peremaja	Penetrasi (0,1 mm)
20%	2%	61,78
30%	4%	61,56
40%	6%	61,22
50%	8%	63,22

untuk campuran beraspal panas AC-WC_{RAP} dapat dilihat pada **Tabel 8**.

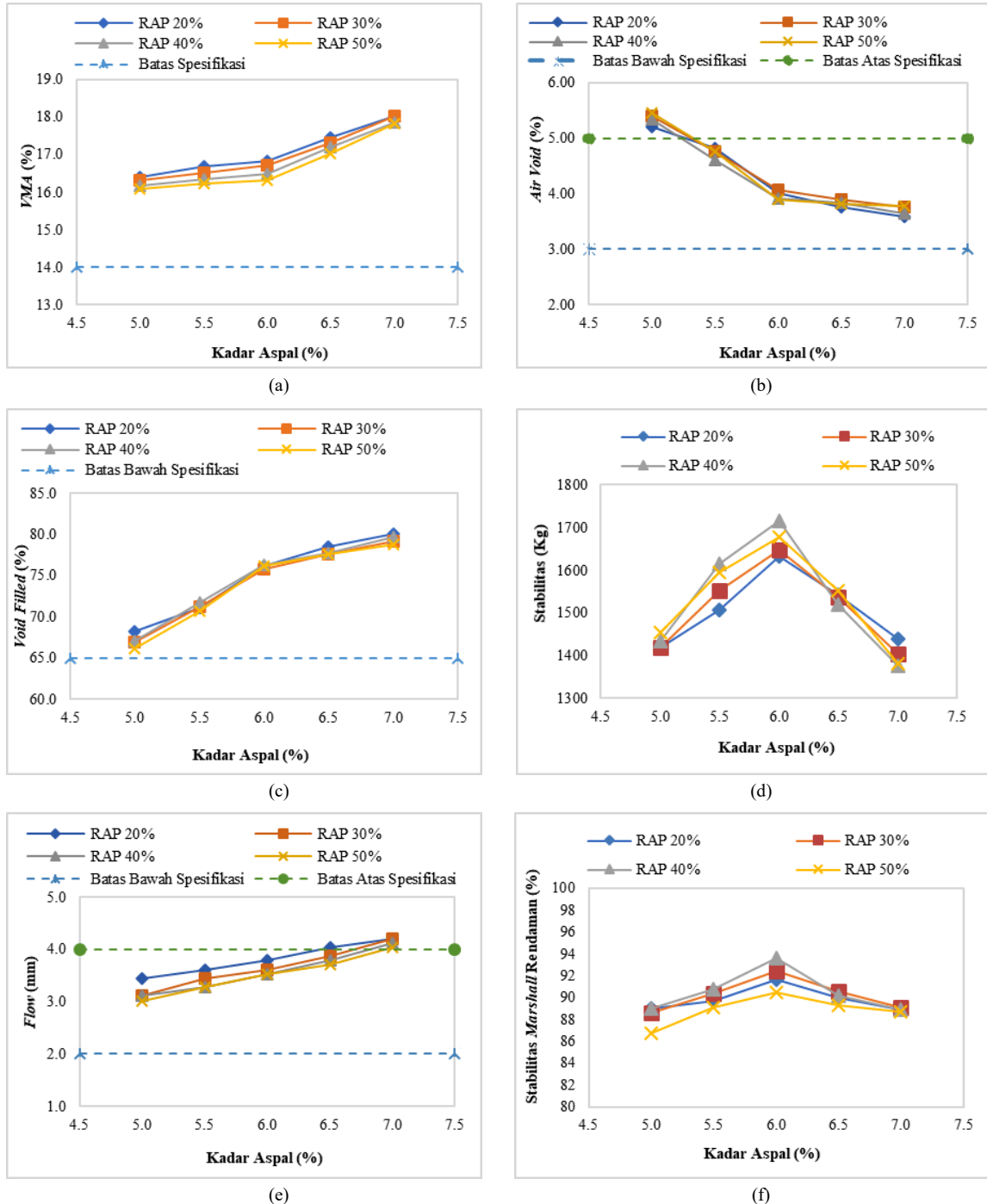
Spesifikasi khusus interm Bina Marga (2019) mensyaratkan minimum nilai VMA untuk AC-WC_{RAP} adalah 14%. Mengingat bahwa desain campuran biasanya bertujuan untuk mendapatkan rongga udara (Air Void) 3% sampai 5%, rongga dalam agregat mineral (VMA) harus tetap cukup tinggi untuk bisa mendapatkan ketebalan film aspal yang memadai sehingga menghasilkan perkerasan aspal yang tahan lama. Campuran beraspal panas dengan nilai VMA di bawah minimum akan memiliki lapisan tipis aspal dan akan memberikan perkerasan aspal memiliki daya tahan rendah. Oleh karena itu, mengurangi konten aspal dengan menurunkan VMA sebenarnya kontra produktif dan berpotensi merusak kualitas perkerasan. Dari **Gambar 5a** dapat dilihat bahwa hasil percobaan pencampuran dengan kadar aspal pada rentang 5% - 7%, nilai VMA campuran memenuhi persyaratan spesifikasi untuk semua jenis varian persentase RAP.



Gambar 4. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan persentase RAP

Tabel 8 Karakteristik AC-WC_{RAP} pada Kadar Aspal Optimum

Karakteristik Campuran	Satuan	Job Mix Formula				Spesifikasi Khusus 2019
		RAP 20%	RAP 30%	RAP 40%	RAP 50%	
Kadar Aspal Optimum	(%)	5,85	6,0	6,0	6,15	-
Density	(t/m ³)	2,281	2,282	2,285	2,286	-
Void Mineral Aggregate	(%)	16,80	16,70	16,49	16,55	Min 14
Air Void	(%)	4,25	4,15	3,91	3,93	3,0 - 5,0
Void Filled With Asphalt	(%)	75,00	75,70	76,29	76,50	Min 65
Stabilty	(kg)	1625	1648	1686	1665	Min 1000
Flow	(mm)	3,78	3,62	3,53	3,60	2 – 4
Stabilitas Marshall Sisa setelah rendam 24 jam, Suhu 60 ^o C	(%)	91,53	93,10	93,32	89,22	Min 90%

Gambar 5. Grafik hubungan antara karakteristik campuran AC-WC_{RAP} dengan kadar aspal

Daya tahan perkerasan aspal adalah fungsi dari kandungan rongga udara (*air void*) di dalam perkerasan aspal. Semakin rendah kadar rongga udara, campuran akan menjadi lebih impermeable. Konten rongga udara yang terlalu tinggi memberikan jalan masuk bagi udara dan air ke dalam perkerasan sehingga lapisan perkerasan menjadi cepat rusak. Kandungan udara yang terlalu rendah dapat menyebabkan *rutting*, *shoving* ataupun *bleeding*. Binamarga mensyaratkan nilai rongga udara (*air void*) dalam campuran beraspal panas adalah pada rentang 3% - 5%. Dari **Gambar 5b** dapat dilihat bahwa hasil percobaan pencampuran dengan kadar aspal pada rentang 5% - 7% menunjukkan bahwa besaran rongga udara (*air void*) pada kadar aspal 5% adalah lebih besar dari 5% untuk semua varian persentase RAP. Pada kadar aspal 5,5% - 7%, besaran rongga udara dalam campuran lebih kecil dari 5% dan lebih besar dari 3% untuk semua jenis varian persentase RAP dan memenuhi persyaratan spesifikasi

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persentase pori antara partikel agregat (VMA) yang terisi atau diisi dengan aspal. Dari **Gambar 5c** bisa dilihat bahwa nilai rongga terisi aspal campuran pada rentang kadar aspal 5,0% - 7,0% adalah diatas 65% untuk semua varian persentase RAP. VFA digunakan untuk memastikan ketebalan film aspal yang tepat dalam campuran. Jika VFA terlalu rendah, campuran akan memiliki daya tahan yang buruk atau jika terlalu tinggi akan mengakibatkan campuran bisa tidak stabil.

Spesifikasi khusus interm Bina Marga (2019) mensyaratkan nilai stabilitas untuk AC-WC_{RAP} minimum 1000 kg. Dari **Gambar 5d** bisa dilihat bahwa nilai stabilitas Marshall campuran pada rentang kadar aspal 5% - 7%. adalah diatas 1000 kg untuk semua varian persentase RAP dan memenuhi persyaratan spesifikasi. Pada kadar aspal 6%, terlihat bahwa campuran AC-WC_{RAP} dengan persentase RAP 40% memiliki nilai stabilitas Marshall yang paling besar diantara varian persentase RAP yang lain. Nilai stabilitas suatu campuran dipengaruhi oleh gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal (kohesi).

Nilai *flow* untuk AC-WC_{RAP} minimum 2 mm dan maksimum 4 mm. Dari **Gambar 5e** dapat dilihat bahwa makin besar persentase kandungan RAP, nilai *flow* campuran cenderung makin kecil untuk kadar aspal yang sama. Kondisi ini menggambarkan bahwa makin besar kandungan RAP akan mengakibatkan campuran menjadi lebih kaku. Hal ini kemungkinan disebabkan kemampuan bahan peremaja kurang efektif

memperbaiki sifat aspal RAP pada persentase kandungan RAP yang semakin besar.

Nilai stabilitas Marshall sisa untuk AC-WC_{RAP} minimum 90%. Dari **Gambar 5f** dapat dilihat bahwa stabilitas Marshall sisa setelah perendaman 24 jam pada kadar aspal 5% berada dibawah persyaratan untuk semua varian campuran kadar RAP, kondisi ini disebabkan oleh *air void* campuran yang tinggi. Sedangkan stabilitas Marshall sisa setelah perendaman 24 jam pada kadar aspal 7% berada dibawah persyaratan untuk semua varian campuran kadar RAP, karena kadar aspal campuran yang tinggi. Campuran dengan kadar aspal yang tinggi akan menjadi lebih lembek setelah perendaman selama 24 jam pada suhu 60 °C.

4.10. Campuran beraspal panas AC-WC_{RAP} hasil pencampuran di AMP

Uji pencampuran menggunakan alat pencampur AMP dilakukan sebanyak lima belas tuangan (*batch*) pada setiap varian kandungan RAP, untuk melihat konsistensi kinerja AC-WC_{RAP}. Kadar aspal dan gradasi campuran hasil uji pencampuran dikontrol kesesuaiannya terhadap kadar aspal dan gradasi campuran yang terdapat pada *job mix formula* dan dievaluasi sesuai ketentuan Spesifikasi Khusus Bina Marga (2019) tentang toleransi komposisi campuran. Sebaran data setiap karakteristik dari pengtesan terhadap sampel hasil uji pencampuran, dievaluasi untuk mengetahui konsistensi kualitas dari lima belas kali uji produksi. Dari **Gambar 6** sampai **Gambar 9** merupakan hasil karakteristik campuran AC-WC_{RAP} untuk setiap varian kandungan RAP dari proses produksi masing - masing *batch*.

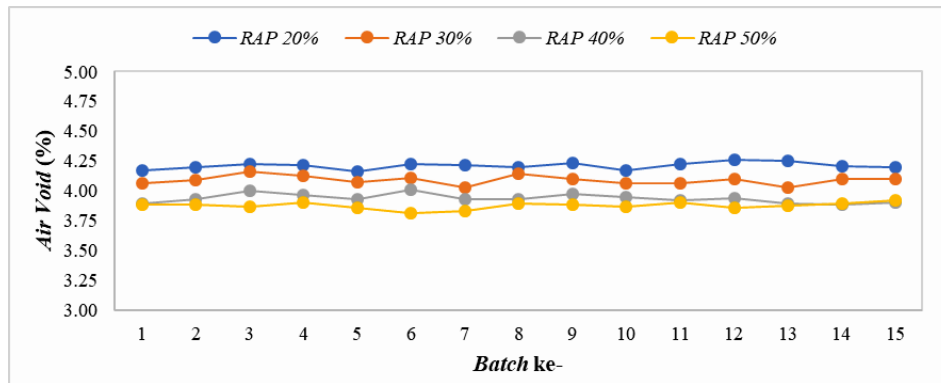
4.11 Konsistensi kinerja Marshall dengan variasi RAP selama produksi di AMP

Untuk mengukur konsistensi kinerja Marshall dalam produksi AMP dipakai ukuran koefisien variasi (KV). Koefisien variasi merupakan suatu ukuran variansi yang dapat digunakan untuk membandingkan suatu distribusi data yang mempunyai satuan yang berbeda. Koefisien variasi adalah perbandingan antara simpangan baku dengan nilai rata-rata suatu data dan dinyatakan dalam persen (%). Besarnya koefisien variasi akan berpengaruh terhadap kualitas sebaran data dari satu set data. Semakin kecil koefisien variasi berarti kumpulan data tersebut semakin seragam dan sebaran data semakin semakin dekat dengan nilai rata-rata data tersebut.

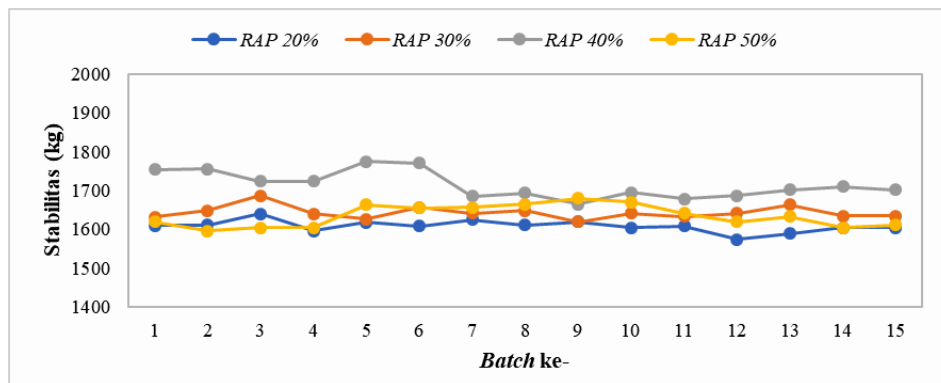
Dari **Tabel 10** tentang nilai koefisien variasi data hasil uji produksi dapat dilihat bahwa koefisien variasi

Tabel 10. Nilai koefisien variasi data hasil uji produksi

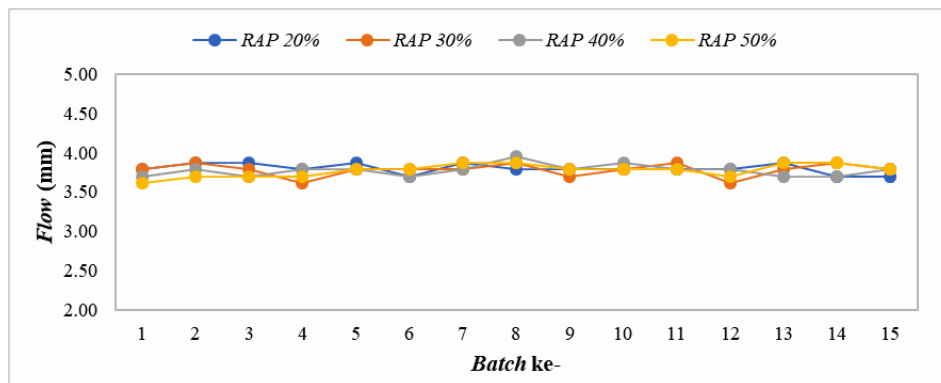
Campuran Beraspal Panas	RAP 20%			RAP 30%			RAP 40%			RAP 50%		
	x	Std	KV	x	Std	KV	x	Std	KV	x	Std	KV
Kadar Aspal	5,84	0,01	0,16%	6,00	0,02	0,27%	6,00	0,02	0,27%	6,14	0,01	0,22%
Void in Mix	4,21	0,03	0,67%	4,09	0,04	0,93%	3,93	0,04	0,95%	3,87	0,03	0,71%
Stabilty	1607	15,76	0,98%	1643	16,71	1,02%	1711	34,08	1,99%	1635	29,06	1,78%
Flow	3,80	0,07	1,72%	3,78	0,08	2,23%	3,78	0,07	1,86%	3,78	0,07	1,75%
Stabilitas Marshall Sisa	91,06	0,70	0,76%	91,90	1,00	1,09%	91,04	1,09	1,20%	90,22	0,30	0,33%



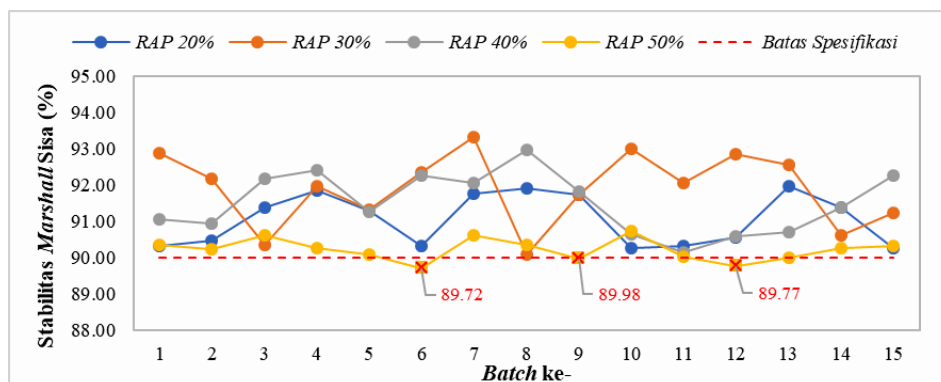
Gambar 6. Grafik air void AC-WC_{RAP} setiap batch



Gambar 7. Grafik stabilitas AC-WC_{RAP} setiap batch



Gambar 8. Grafik flow AC-WC_{RAP} setiap batch



Gambar 9. Grafik stabilitas Marshall sisa AC-WC_{RAP} setiap batch

untuk keseluruhan set data, maksimum di angka 2,23%. Dengan nilai koefisien variasi yang relatif kecil tersebut, maka dapat diartikan bahwa setiap set data yang diperoleh dari pengetesan campuran AC-WC_{RAP} hasil uji produksi, mempunyai sebaran data yang mendekati nilai rata-rata datanya. Hal ini menunjukkan bahwa metode sampling material, proses pengolahan material, prosedur pembuatan *job mix formula* dan teknologi yang digunakan untuk proses produksi AC-WC_{RAP}, bisa menghasilkan AC-WC_{RAP} kualitas campuran beraspal panas daur ulang AC-WC_{RAP} yang konsisten walaupun masih ada parameter yang tidak memenuhi spesifikasi. Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa dari 15 *batch* uji produksi AC-WC_{RAP} dengan RAP 50%, terdapat 3 *batch* yang mempunyai nilai stabilitas marshall sisa tidak memenuhi spesifikasi yaitu pada *batch* ke-6 (89,72%), *batch* ke-9 (89,98%) dan *batch* ke-12 (89,77%).

5. Kesimpulan

1. Dari pencampuran di laboratorium dan hasil uji produksi, semua parameter karakteristik Marshall pada kadar aspal optimum untuk campuran beraspal panas daur ulang AC-WC_{RAP} dengan proporsi RAP mulai dari RAP 20%, RAP 30% dan RAP 40% dapat memenuhi persyaratan spesifikasi campuran beraspal panas daur ulang AC-WC_{RAP}. Pada AC-WC_{RAP} dengan RAP 50% hasil pencampuran di laboratorium dan uji produksi terdapat parameter yang tidak memenuhi spesifikasi yaitu pada nilai Stabilitas Marshall Sisa Rendaman 24 jam. Dari 15 *batch* sampel uji produksi terdapat 3 *batch* sampel yang nilai stabilitas Marshall Sisa berada di bawah batas persyaratan spesifikasi. Hotmix daur ulang AC-WC_{RAP} dengan proporsi RAP 20% sampai dengan RAP 40% dapat digunakan untuk lapis aus lapisan perkerasan jalan karena semua parameter karakteristik campurannya memenuhi persyaratan Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Daur Ulang Bina Marga 2019.
2. Nilai koefisien variasi data hasil uji produksi untuk keseluruhan set data, maksimum 2,23%. Dengan nilai koefisien variasi antara 0,16% sampai 2,23%, maka dapat diartikan bahwa setiap set data yang diperoleh dari pengetesan campuran AC-WC_{RAP} hasil uji produksi, mempunyai sebaran data yang dekat dengan nilai rata-rata setiap data parameter. Hal ini menunjukkan bahwa metoda pengambilan sampel material, proses pengolahan material, prosedur pembuatan *job mix formula* dan teknologi yang digunakan untuk proses produksi AC-WC_{RAP}, bisa menghasilkan kualitas campuran beraspal panas daur ulang AC-WC_{RAP} yang konsisten.

Daftar Pustaka

- Asphalt Institute (2014), *Asphalt Mix Design Method*, Lexington KY, Manual Series No. 02. Seventh Edition 2014, USA.
- Henrikas, S., Braziunas, J. and Prentkovskis, O. (2017), *Technologies and Principles of Hot*

Recycling and Investigation of Preheated Reclaimed Asphalt Pavement Batching Process in an Asphalt Mixing Plant. *Applied Sciences*, pp.1-20.

- Kaseer, F., Cucalonb, L.G., Arámbula, M.E., Martina, A.E. and Epps, J. (2018), Practical Tools for Optimizing Recycled Materials Content and Recycling Agent Dosage for Improved Short and Long Term Performance of Rejuvenated Binder Blends and Mixtures. *Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions*, March 2018.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Bina Marga (2019), Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Daur Ulang Pencampuran di Unit Produksi Campuran Aspal.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, (2018), Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan.
- Kent, R. and Audrey, C. (2015), Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2014 Information Series 138, National Asphalt Pavement Association 5100 Forbes Blvd. Lanham, MD 20706.
- Mamdooh, A., Kamel, M. and Al-bustami, N. (2109), Sustainable applications of asphalt mixes with reclaimed asphalt pavement (RAP) materials: innovative and new building brick. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, Vol. 14, Issue 3, September 2019, pp. 364–374.
- Mishra, B. (2015), A Study on Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in Flexible Pavements. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 4, Issue 12, December 2015, pp. 12170-12177.
- Moghaddam, TB. and Baaj, H. (2016), The Use of Rejuvenating Agents in Production of Recycled Hot Mix Asphalt : A Systematic Review. *Construction and Building Materials*, Vol. 114, pp. 805-816.
- Pradyumna, A., Mittal, A. and Jain P.K. (2013), Characterization of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for Use in Bituminous Road Construction. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 104, pp. 1149 – 1157.