



**DPP-HPJI**  
2015-2019

SEKRETARIAT :  
Jl. Dharmawangsa Raya No. 125, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12160, Indonesia  
Telp. 021-7251864, Fax. 021-7208112, e-mail: [dpp\\_hpji75@yahoo.com](mailto:dpp_hpji75@yahoo.com), <http://www.hpji.or.id/>



Jakarta, 25 Oktober 2019

Nomor : UM.136/KNTJ-10/DPP-HPJI/X/2019  
Lampiran : Jadwal Sidang Teknik KNTJ-10

Kepada Yang Terhormat:

**Saudara**

1. **Onesri boy.N**
2. **Endang Widjajanti**
3. **Muhammad Azhar**

di Tempat

Perihal : **Penyampaian Hasil Penilaian Makalah Teknik dan Jadwal Sidang Teknik Konferensi Nasional Teknik Jalan Ke-10 (KNTJ-10) tanggal 4 – 7 November 2019, di Jakarta.**

Dengan hormat kami sampaikan bahwa makalah saudara dengan judul:

**“Pengaruh Penambahan Karet Alam Cair Kedalam Campuran Aspal Hot-Mix Daur Ulang Lapis Permukaan”,**

telah dinilai oleh Dewan Penilai Makalah KNTJ-10, dan diputuskan bahwa makalah saudara **DITERIMA** dan akan **DISAJIKAN** dalam sidang makalah teknik KNTJ-10 sesuai jadwal sidang terlampir.

Bagi Penulis Makalah yang disajikan akan diberikan fasilitas sebagai berikut:

1. Penyajian makalah selama 20 menit untuk setiap Penulis;
2. Fasilitas sidang yang meliputi LCD Projector dan Note Book (Desk Top) berikut operator;
3. Bebas biaya pendaftaran (1 satu buah undangan) dan akomodasi hotel Mercure, Ancol Jakarta untuk Penulis Utama (sharing dengan penulis utama lainnya), terhitung *check in* 4 November 2019 dan *check out* 7 November 2019, sedangkan biaya perjalanan ditanggung masing-masing penulis.

Selanjutnya seluruh makalah yang kami terima akan dimasukkan ke dalam Prosiding KNTJ-10 yang akan kami daftarkan dalam ISBN dan file-file makalah dapat diunduh melalui link yang tersedia.

Harap mengirimkan bahan paparan (format ppt dan CV Penyaji) serta menginformasikan kehadiran dan nomor HP, untuk memudahkan persiapan persidangan dan akomodasi sampai dengan Jumat 1 November 2019 melalui [kntj10jakarta@gmail.com](mailto:kntj10jakarta@gmail.com) (PIC Persidangan: Rully 081321950693, PIC Akomodasi/Hotel Mercure: Ibu Kenny 0818661098).

Atas perhatian dan kerjasamanya, diucapkan terima kasih.

Dewan Penilai Makalah,

**Gatot Soerjatmodjo**

Sekretaris

Tembusan kepada Yth:

1. Seksi Persidangan KNTJ-10
2. Seksi Akomodasi KNTJ-10



ISBN : 978-602-72229-4-6

# PROSIDING Konferensi Nasional Teknik Jalan ke 10 KNTJ-10

Jakarta, 4 – 7 November 2019  
Hotel Mercure, Ancol, Jakarta

Tema :

*“Pembangunan Infrastruktur Jalan dalam Era  
Teknologi Industri 4.0”*



HIMPUNAN PENGEMBANGAN JALAN INDONESIA  
2019



**PROSIDING**  
**KONFERENSI NASIONAL TEKNIK JALAN**  
**(KNTJ) KE-14**

Pembangunan Infrastruktur Jalan dalam  
Era Teknologi Industri 4.0

Ancol, Jakarta, 4 – 7 November 2019



**HIMPUNAN PENGEMBANGAN JALAN INDONESIA**  
**2019**

ISBN 978-602-72229-4-6





**PROSIDING**  
**KONFERENSI NASIONAL TEKNIK JALAN KE-10**  
***Pembangunan Infrastruktur Jalan Dalam Era Teknologi Industri 4.0.***  
***Ancol, Jakarta , 4 – 7 November 2019***

**ISBN : 978-602-72229-4-6**

**Susunan Panitia/Steering Committee**

Pengarah	: Sugiyartanto, Ir., MT. Gandhi Harapan, Ir., M.Eng. Hermanto Dardak, DR., Ir., M.Eng.
Ketua	: Taufik Widjoyono, Ir., M.Eng.Sc
Wakil Ketua I	: Asep Sudarjat, DR. Ir. MM
Wakil Ketua II	: Sutopo Kristanto, Ir
Sekretaris I	: Heddy R Agah, Ir., M.Eng.
Sekretaris II	: Ade Meinia Karmenita
Bendahara I	: Eko Prastowo, Ir, MM
Bendahara II	: Ratu Cholifah Fitri
Pendanaan	: Sutopo Kristanto, Ir
Koordinator Pelaksana	: Heddy R Agah, Ir., M.Eng.
Ketua DPM	: Gatot Soerjatmodjo, Ir, MT
Persidangan	: Handiyana, ST, M.Sc.
Perumus	: Deded Permadi Syamsuddin, Ir, MEngSc
Kunjungan Teknik	: Made Sukaryawan, Ir
Sekretariat	: Ade Meinia Karmenita
Pameran	: Rachmad Asaad

**Editor/Penyunting :**

Handiyana Ariephin  
Dimas Sigit Dewandaru  
Winni Sarfina  
Rieka Widyapuspita

**Dewan Penilai Makalah/Reviewer:**

Ir. Purnomo  
Dr. Didik Rudjito  
Gatot Soerjatmodjo, Ir, MT  
Biemo W Soemardi, PhD, Ir  
Sigit Pranowo, Prof DR. Ir.  
Ir. Iwan Zarkasi, M.Eng.Sc  
Dr. Herry Vaza  
Ir. Agita Widjajanto, M.Eng.Sc  
Prof. Dr. Wimpy Santosa  
Ir. Samsi Gunarta, M.Appl.Sc  
Prof. Dr. Tri Tjahjono  
Ir. Palgunadi, M.Eng.Sc  
Ir. Jani Agustin, M.Sc  
Ellen SW Tangkudung, Ir, MSc



**Cover Design :**  
Dimas Sigit Dewandaru

**Penerbit:**  
Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia  
Jl. Panglima Polim Raya No.125  
Kebayoran Baru  
Jakarta Selatan  
Telp. 021-7251864, Fax. 021-7208112  
E-mail : dpp\_hpji75@yahoo.com

**Cetakan Pertama, 30 Desember 2019**  
**Hak Cipta HPJI**



# DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Redaksi .....	ii
Prakata .....	iv

## T-1 KEBIJAKAN DAN MANAJEMEN

Kebijakan Standarisasi Pembangunan Rute Jalan Evakuasi Melalui Analisis Peningkatan Laik Fungsi jalan dan Status Gunung Berapi; <b>Parbowo, Agus Bari Sailendra</b> .....	1
Monitoring Konstruksi Jalan Tol Berbasis Sistem Informasi; <b>Zulaika Budi Astuti, Kamarullahu Wajhahu, Hadi Suprayitno, Primawan Avicenna, Herry Trisaputra</b> .....	17
Manajemen Aset Jalan Khususnya pada Kawasan Rawan Bencana; <b>Hermanto Dardak, Taufik Widjojono, Didik Rudjito, Alfa Adib</b> .....	27
Revolusi Industri 4.0 Memanifestasikan Revolusi Cara Kerja Yang Lebih Cepat, Akurat, Efisien dan Transparan Dibidang Infrastruktur Jalan dan Jembatan; <b>Danang Atmodjo, Bayu Murtiyoso</b> .....	40
Smart CCTV And Weigh In Motion (WIM) Integrated System In Indonesian Toll Road; <b>Operation and Management Group, PT Jasa Marga</b> .....	47
Dampak dan Solusi Akibat Keterlambatan Proyek Konstruksi Jalan di Sumatera Barat; <b>Nasfryzal Carlo, Eva Rita, Nandi, Indra Jaya</b> .....	56
Asesmen Bahaya Longsor Pada Jalan Raya Berbasis Data Crowd-Source dan Media Online (Studi Kasus Ruas Jalan Kota Batu-Batas Kab. Kediri); <b>Emil Wahyudianto</b> .....	64
Pengaruh Metode Pemilihan Penyedia Pada Mutu Pekerjaan Jalan; <b>Dian Novitasari, Dewi Atikah, Mochammad Harun</b> .....	73
Penggunaan Metode Dua Tahap Untuk Menentukan Kadar Optimum Penambahan Kapur Lapis Pondasi Jalan; <b>Franky E. P. Lopian</b> .....	79

## T-2 BAHAN DAN PERKERASAN

Evaluasi Pengaruh Penambahan Plastic Fibre Pada Campuran Aspal dan Beton -Review Paper; <b>Christian Gerald Daniel</b> .....	88
--	----



Area Maintenance Contract (Amc) Modifikasi Usulan Metode Penanganan Jalan Dan Jembatan Di Upt Pjj Surabaya Terkait Keterbatasan Sdm; **Dian Novitasari, Heru Susanto, Ratna Handayani** ..... 477

## T-5 KEANDALAN DAN EFEKTIFITAS JARINGAN JALAN

Pengembangan Aksesibilitas Untuk Perencanaan Jalan Wisata Melalui Peningkatan Fungsi Elemen Jalan; **Parbowo, Untung Cahyadi, Suprijadi** ..... 485

Inventarisasi Bahaya Longsor Jalan Pada Fase Pasca Bencana (Studi Kasus Siklon Cempaka Pada jalan Provinsi di Kabupaten Pacitan); **Emil Wahyudianto** ..... 503

Peran Penyelenggaraan Pemeliharaan Rutin Jalan Provinsi Jawa Tengah Terhadap Penurunan Angka Kemiskinan dan Pemanfaatan Teknologi Gawai Android; **AR. Hanung Triyono, Agus Supriyanto, Anindita Rifta Hapsari, Ury Wahyu Suprihati**.... 519

GeoRoughometer: Alat Pengukur ketidakrataan Permukaan Jalan; **Slamet Prabudi, Nasro, Kuswanda, Haikal Pazha, Awang Al Azhar** ..... 529

Pengaruh Penambahan Karet Alam Cair Kedalam Campuran Aspal Hot-Mix Daur Ulang Lapis Permukaan; **Onesri Boy N, Endang Widjajanti, Muhammad Azhar** ..... 539

Strategi Penanganan Infrastruktur Jalan Dan Jembatan Pasca Gempa Bumi Lombok Tahun 2018; **Budiamin, Ujang Sukmana, Ali Sadikin** ..... 555

Analisa Penghematan Biaya Operasional Kendaraan Dengan Perbaikan Perkerasan Jalan; **Ratna Handayani, Dian Novitasari, Dewi Atikah** ..... 569

## T-6 TRANSPORTASI, LALU LINTAS, LINGKUNGAN DAN KESELAMATAN JALAN

Perkembangan Dan Peluang Transportasi Massal Dan Modern (Mrt Dan Lrt) Di Jabodetabek; **Basuki Muchlis** ..... 577

Pengaruh Penggunaan Benih Vegetasi dan Perekat Lateks dalam Campuran Material Hydroseeding Terhadap Penurunan Erosi Permukaan Lereng Jalan; **Asep Sunandar, Sri Yeni Mulyani** ..... 583

Inisiatif Pembangunan Jalan Hijau Di Indonesia: Korelasi Antara Kualitas Konstruksi dan Tingkat Pemahaman Pelaku Pembangunan; **Angga Maesa Danu, Aisyah Almira,** ..... 597

Konsep Pengembangan Smart Infrastruktur Dalam Penyediaan Infrakstruktur Jalan Untuk Mendukung Mobility As A Service (MaaS) Di Indonesia; **Nicholas** ..... 612



## PENGARUH PENAMBAHAN KARET ALAM CAIR KEDALAM CAMPURAN ASPAL HOT-MIX DAUR ULANG LAPIS PERMUKAAN

<sup>1</sup>Onesri boy.N, <sup>2</sup>Endang Widjajanti, <sup>3</sup>Muhammad Azhar

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil ISTN, <sup>1,2</sup>Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil ISTN. Jln. Moch. Kahfi II, Srengseng Jakarta Selatan 12620

<sup>1</sup>[strendah@yahoo.com](mailto:strendah@yahoo.com), <sup>2</sup>[wiiwin62@gmail.com](mailto:wiiwin62@gmail.com), <sup>3</sup>[mohazhar62@yahoo.co.id](mailto:mohazhar62@yahoo.co.id)

### Abstrak

*Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* adalah material hasil pengupasan perkerasan aspal lama. Material hasil pengelupasan ini secara sifat fisik maupun kimia masih dapat dimanfaatkan dengan metode daur ulang dan bahan peremajaan serta penambahan karet alam cair pra-vulkanisasi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kualitas campuran yang memenuhi standar baik secara workabilitas, durabilitas, stabilitas sebagai campuran aspal hot-mix lapis permukaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran material 49,13% RAP, 47,24% agregat baru, 3,26% aspal bitumen baru (*fress*), 0,20% bahan peremajaan (*Rejuvenile*), 0,17% karet alam cair pra-vulkanisasi dari berat total campuran, secara teknis baik durabilitas maupun workabilitas memenuhi standar yang dipersyaratkan dalam Spesifikasi Khusus Interim Skh-1.6.27 Bina arga 2019. Campuran ini menghasilkan Stabilitas Marshall 1.197 kg (standar minimum 1.000 kg), pelepasan 3,10 mm (spesifikasinya 2 ~ 4 mm), rongga dalam campuran (VIM) 3,48 % (spesifikasi 3 ~ 5 %), rongga dalam mineral agregat (VMA) 14,33 % (spesifikasi minimum 14 %), rongga terisi aspal (VFB) 75 % (spesifikasi minimum 65 %) dan stabilitas marshall sisa 92,51 % (spesifikasi minimum 90 %). Penambahan karet alam cair pra-vulkanisasi sebesar 0,17 % dari berat total campuran dapat meningkatkan nilaistabilitas marshall dari 1.049 kg (tanpa karet) menjadi 1.197 kg (dengan karet alam cair pra-vulkanisasi). Hal ini menunjukkan pengaruh penambahan karet kedalam campuran aspal hot-mix RAP meningkatkan nilai stabilitas marshall dan menambah umur layanan campuran. Secara ekonomis, penggunaan material dari hasil daur ulang RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) tersebut dapat menghemat biaya total produksi sebesar 13,00 % di bandingkan dengan menggunakan material baru.

**Kata Kunci** : *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*, bahan peremajaan, Hot-mix Ac-Wc, Karet alam cair Pra-vulkanisasi

### Abstrak

*Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* is a material for stripping the old asphalt. The material of this exfoliation in both physical and chemical properties can still be utilized by recycling methods and material rejuvenation as well as the addition of pre-vulcanization liquid natural rubber. The study aims to obtain a quality mixture that meets the standards the workability, durability, stability as a surface-coated hot-mix asphalt mixture. The research results showed that the material mixture consists of 49.13 % RAP, 47.24 % new aggregate, 3.26 % new bitumen asphalt (*fress*), 0.20 % rejuvenation material (*Rejuvenile*), 0.17 % liquid natural rubber pre-vulcanization of the total weight of the mixture, has good durability and workability and meet the standards requirements in the Interim Special specification Skh-1.6.27, Bina Marga 2019. This mixture generate Marshall Stability 1,197 kg (minimum standard 1,000 kg), Value of Flow 3.10 mm (specifications 2 ~ 4 mm), voids in mix (VIM) 3.48% (specification 3 ~ 5%), voids in mineral aggregates (VMA) 14.33% (minimum specification 14%), voids filled with bitument (VFB) 75% (minimum specification 65%) and the remaining Marshall stability 92.51% (minimum specification 90%). The addition of pre-vulcanized liquid natural rubber amounted to 0.17% of the total weight of the mixture can increase the value of Marshall stability from 1,049 kg (without rubber) to 1,197 kg (with pre-vulcanized





liquid natural rubber). This shows that the rubber addition into the RAP mixture will increase the value of Marshall stability and increase service life. Economically, the use of materials from the recycling of RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) can save a total cost of production by 13.00 % in comparison with the use of new materials.

**Keywords:** *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*, *rejuvenation material*, *Hot-mix Ac-Wc*, *Pre-vulcanised liquid natural rubber*

## 1. PENDAHULUAN.

*Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* adalah material hasil pengupasan atau pemerosesan ulang perkerasan yang berisi aspal dan agregat. Material ini timbul jika perkerasan aspal dikupas untuk direkonstruksi, pelapisan ulang, atau untuk mengakses jaringan utilitas yang tertanam di bawahnya. RAP mengandung agregat dan aspal yang masih dapat diolah kembali serta masih bergradasi baik (NAPA, *National Asphalt Paving Association* 1996).

Metode daur ulang (recycling) menggunakan RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) merupakan salah satu cara atau solusi yang baik untuk rehabilitasi lapis permukaan. Teknologi daur ulang perkerasan merupakan salah satu alternative kegiatan rehabilitasi yang memiliki beberapa keuntungan, seperti dapat mengembalikan kekuatan perkerasan, mempertahankan geometric jalan serta mengatasi ketergantungan akan material baru.

Campuran aspal panas yang sekarang dipakai dalam penelitian ini menambahkan karet alam cair kedalam campuran aspal panas (Hot-mix) dengan tujuan untuk meningkatkan stabilitas campuran aspal panas dan diharapkan dapat memberikan manfaat ekonomis dengan harga yang lebih murah.

Karakteristik Campuran Aspal Hot-mix terdapat tujuh kriteria (*Silvia Sukirman*), pada penelitian ini hanya meninjau dari dua kriteria yaitu *Workabilitas* dan *Durabilitas*.

**Workabilitas** adalah kemudahannya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi standar kepadatan. Yang berpengaruh pada *workabilitas* ini adalah :

1. **Gradasi agregat.** Agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat bergradasi lain.
2. **Temperatur campuran.** Yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
3. **Kandungan bahan pengisi (filler)** yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sukar.

**Durabilitas** adalah kemampuan lapisan permukaan dalam menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan ban kendaraan. Factor yang mempengaruhi *durabilitas* adalah :

1. **Film aspal atau selimut aspal** optimum akan menjadikan *durabilitas* yang baik.
2. **Rongga dalam campuran (VIM) kecil**, sehingga lapisan kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran.
3. **Rongga dalam mineral agregat (VMA) besar**, sehingga film aspal dapat optimum dan gradasi agregat baik.

Hasil penelitian Nono (2016), menunjukkan bahwa sifat campuran beraspal panas dengan memanfaatkan RAP, yang baik adalah menggunakan bahan peremajaan, dengan komposisi RAP 20% atau lebih.

Hasil penelitian Henry Prastanto (2018) menunjukkan bahwa penambahan karet alam cair pra-vulkanisasi sebesar 7% terhadap bobot aspal pen 60 dapat meningkatkan sifat fisik aspal yang diindikasikan dengan bertambahnya nilai titik lembek, penurunan nilai penetrasi dan kenaikan keelastisan.



## 2. TUJUAN.

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan karet alam cair kedalam campuran aspal hot-mix daur ulang lapis permukaan tersebut secara wokrabilitas dan durabilitasnya.
2. Mengetahui berapa nilai persentase penambahan karet alam cair kedalam campuran aspal hot-mix daur ulang lapis permukaan.
3. Berapa besar nilai stabilitas yang didapatkan dari campuran aspal hot-mix daur ulang lapis permukaan dengan penambahan karet tersebut.
4. Secara ekonomis berapa persen yang dapat diakomodir dengan penambahan karet alam cair ini kedalam campuran aspal hot-mix daur ulang dibandingkan dengan campuran aspal hot-mix standar.

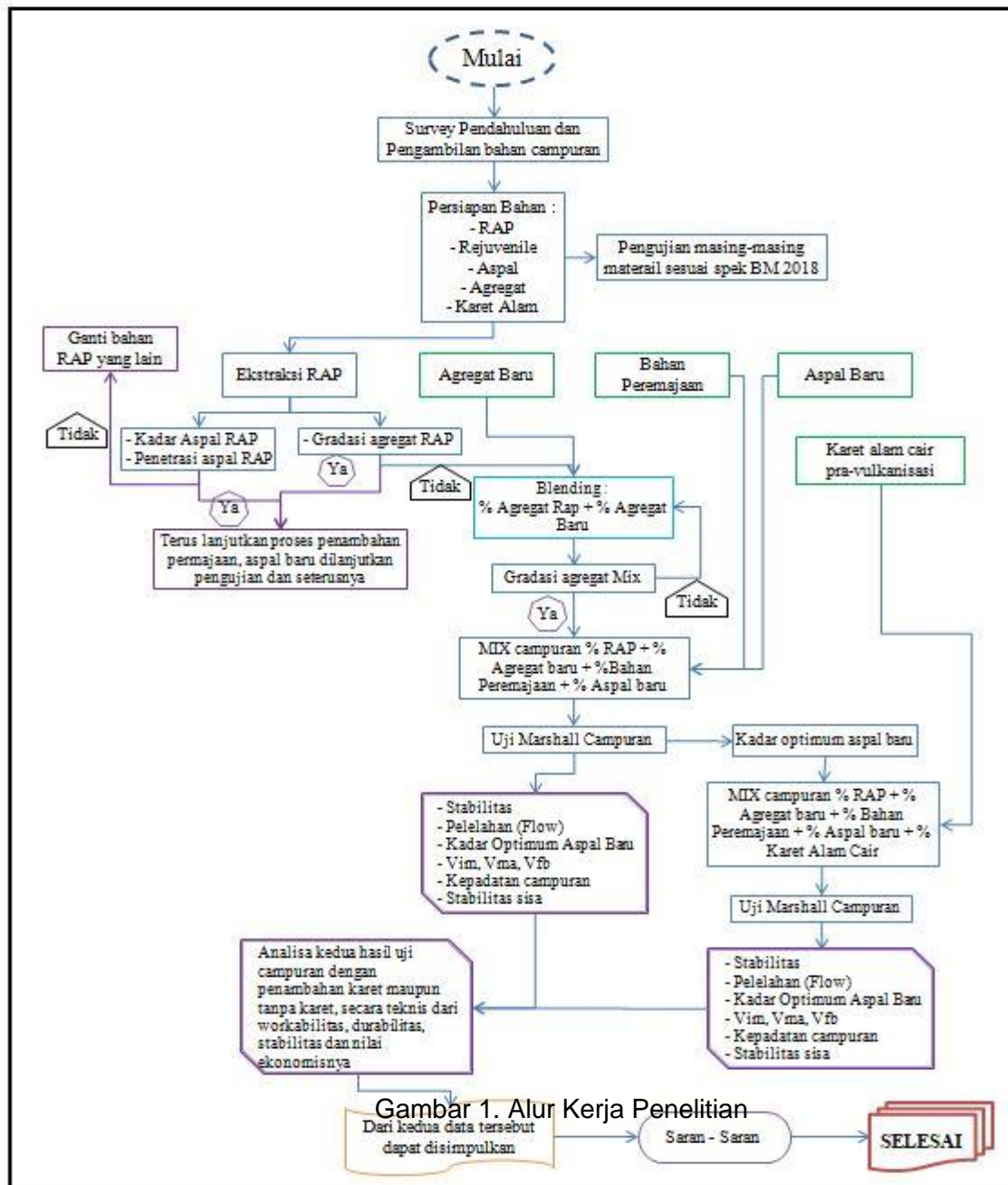
## 3. METODOLOGI.

Pada penelitian ini agregat baru digunakan sebagai bahan tambahan pada campuran agregat yang ada pada recycling, dimana agregat baru ini terdiri dari tiga fraksi agregat, agregat kasar ukuran 12,5 ~ 19 mm, agregat sedang ukuran 0,59 ~ 12,5 mm, serata agregat halus ukuran 0,075 ~ 0,59 mm. Ketiga fraksi agregat tersebut diproporsikan sesuai dengan spesifikasi campuran agregat aspal beton (AC-WC) sebagai penambah agregat recycling.

Tahapan penelitian yang direncanakan adalah sebagai berikut ini :

1. Pengujian material baru secara independen.
2. Pengujian material RAP baik kadar aspal RAP, penetrasi aspal RAP dan Gradasi RAP.
3. Penambahan Agregat Baru kedalam RAP dengan proporsi tertentu.
4. Pencampuran RAP, Agregat baru, bahan peremajaan, aspal baru untuk bahan pengujian.
5. Pengujian Campuran untuk mendapatkan standar kualitas berdasarkan marshall test, serta untuk mengetahui kadar aspal optimum.
6. Pembuatan benda uji dengan variasi persentase karet pada campuran kadar aspal optimum.
7. Pengujian Campuran variasi karet tersebut untuk mendapatkan standar kualitas berdasarkan marshall test guna menemukan besaran maksimum penambahan karet pada campuran tersebut.

Alur kerja disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Alur Kerja Penelitian

Dari kedua data tersebut dapat disimpulkan

Saran - Saran

SELESAI



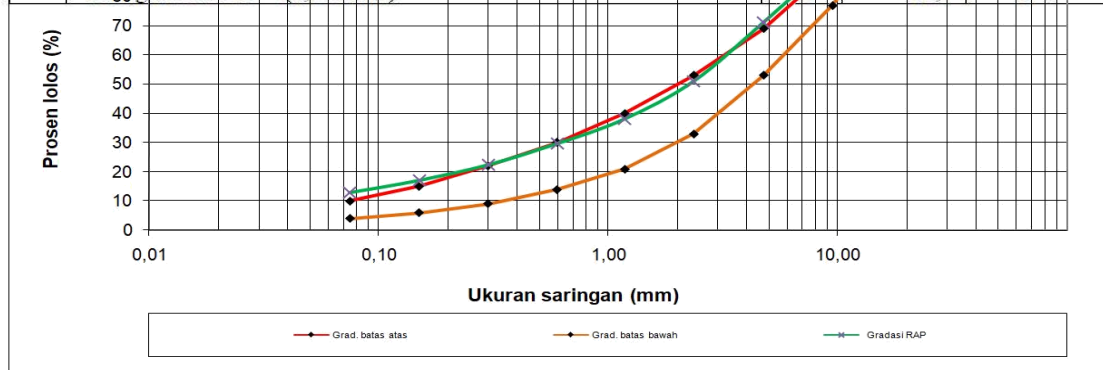
#### 4. PEMBAHASAN

##### 1. Workabilitas.

Hasil uji material RAP yang akan dipakai dalam penelitian ini berasal dari hasil scrapping tol cawang – tanjung priok Jakarta menunjukkan bahwa sifat fisik aspal telah memenuhi Spesifikasi Khusus Interim Skh-1.6.27 Bina Marga 2019 namun untuk gradasi agregat (Gambar 2) tidak memenuhi standar gradasi maksimum dan minimumnya. Hasil uji material RAP yang akan dipakai dalam penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji material RAP yang akan dipakai dalam penelitian

No	Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Standar BM SKh-1.6.27
<b>A. ASPAL</b>				
1.	Kadar Aspal	%	3,835	Min. 3,8
2.	Kadar Air	%	1,75	
3.	Penetrasi pada 100 gram, 25°C : 0,1	mm	8,0	Min. 5,0
4.	Titik lembek	°C	79,6	
5.	Daktilitas	cm	1,2	
6.	Berat Jenis	ton/m <sup>3</sup>	1,065	
<b>B. AGREGAT</b>				
1.	Abrasi	%	22,35	
2.	Berat Jenis ( <i>Specific Gravity</i> )			
	- Berat Jenis Curah ( <i>Bulk Specific Gravity</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	2,625	
	- Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan ( <i>Saturated Surface Dry</i> ) SSD	gr/cm <sup>3</sup>	2,660	
	- Berat Jenis Semu ( <i>Apparent Specific Gravity</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	2,725	
	- Penyerapan Air ( <i>Absorption</i> )	%	1,440	
3.	Ukuran Butir Agregat			
	- Saringan 3/4" = (19 mm)	%	100,0	100
	- Saringan 1/2" = (12,5 mm)	%	98,5	90 - 100
	- Saringan 3/8" = (9,5 mm)	%	92,3	77 - 90
	- Saringan No. 4 = (4,75 mm)	%	71,2	53 - 69
	- Saringan No. 8 = (2,36 mm)	%	51,1	33 - 53
	- Saringan No. 16 = (1,18 mm)	%	38,1	21 - 40
	- Saringan No. 30 = (0,60 mm)	%	29,6	14 - 30
	- Saringan No. 50 = (0,30 mm)	%	22,5	9 - 22
	- Saringan No. 100 = (0,15 mm)	%	17,0	6 - 15
	- Saringan No. 200 = (0,075 mm)	%	12,8	4 - 9



Gambar 2. Grafik Gradasi Agregat RAP dari analisa saringan

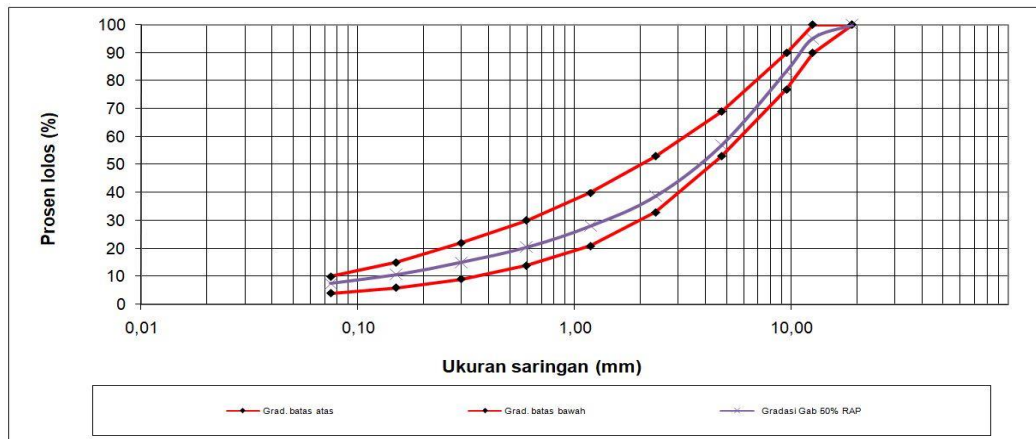


Untuk mengatasi tidak terpenuhinya spesifikasi gradasi maksimum dan minimum, dilakukan penambahan agregat baru dengan persentasi tertentu untuk memenuhi spesifikasi standar gradasi agregat campuran. Penggabungan dari dua bahan tersebut, bahan agregat RAP dengan bahan agregat baru, kemudian di komposisikan dengan perhitungan metode proporsi penakaran (*batch proportion*), dari hasil pencampuran secara batch proportion tersebut didapatkan hasil gradasi yang baik dengan komposisi RAP 50% dan agregat baru 50%. Uraian gradasi material campuran 50% RAP dan 50% agregat baru disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Gradasi Material Campuran 50% RAP dan 50% Agregat Baru.

URAIAN	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Ukuran Saringan (Inch)	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
Ukuran Saringan (mm)										
<b>DATA GRADASI</b>										
Agregat Kasar	100,0	78,10	34,03	2,76	1,83	1,61	1,50	1,40	1,24	1,01
Agregat Sedang	100,0	100,0	99,35	39,25	5,97	4,75	3,52	4,15	3,60	2,95
Agregat Abu Batu	100,0	100,0	100,0	100,0	74,56	49,87	33,20	21,15	13,12	7,31
Agregat RAP KASAR	100,0	95,89	81,88	42,37	28,15	21,85	17,46	13,82	10,62	7,89
Agregat RAP HALUS	100,0	100,0	100,0	99,94	78,48	58,48	43,68	32,69	24,04	17,47
<b>KOMBINASI AGREGAT</b>										
Agregat Kasar	15,00%	15,00	11,71	5,10	0,41	0,27	0,24	0,21	0,19	0,15
Agregat Sedang	12,50%	12,50	12,50	12,42	4,91	0,75	0,59	0,44	0,52	0,37
Agregat Abu Batu	22,50%	22,50	22,50	22,50	22,50	16,78	11,22	7,47	4,76	2,95
Agregat RAP KASAR	36,25%	36,25	34,76	29,68	15,36	10,20	7,92	6,33	5,01	3,85
Agregat RAP HALUS	13,75%	13,75	13,75	13,75	13,74	10,79	8,04	6,01	4,49	3,31
<b>Gradasi Gab 50% RAP</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>95,22</b>	<b>83,45</b>	<b>56,92</b>	<b>38,79</b>	<b>28,02</b>	<b>20,47</b>	<b>14,99</b>	<b>10,74</b>
	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>	<b>Ok</b>
<b>Gradasi Laston AC WC</b>										
Maks.	100,0	100,0	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0	10,0
Min.	100,0	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0	4,0

Grafik gradasi campuran hasil pencampuran 50% RAP dengan 50% Agregat Baru memenuhi satandar gradasi agregat campuran, dimana gradasi agregat campuran tersebut harus berada diantara dua gradasi tersebut untuk memenuhi standar gradasi untuk campuran aspal hot-mix lapis permukaan (AC-WC), seperti disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Gradasi Agregat Campuran 50% RAP dengan 50% Agregat Baru

## 2. Durabilitas.

Berdasarkan gradasi agregat campuran yang dihasilkan pada tabel 2 tersebut, di hitung secara matematisnya kadar aspal perkiraan, persentase tambahan aspal baru, persentase RAP, persentase agregat baru dalam campuran, dimana hasil dari penjumlahan perhitungan ini sama dengan 100.



Kadar aspal perkiraan dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_b &= 0,035x(CA) + 0,045x(FA) + 0,18x(FF) + K \\ P_b &= (0,035 \times 61,21) + (0,045 \times 31,36) + (0,18 \times 7,43) + 0,75 \\ P_b &= 2,142 + 1,411 + 1,337 + 0,75 \\ P_b &= 5,64\% \text{ (kadar aspal perkiraan)} \end{aligned}$$

Persentase tambahan aspal baru.

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - rPRap - b)P_b}{100(100 - PRap - b)} - \frac{(100 - r)PRap - b}{100 - PRap - b}$$

$$P_{nb} = 5,752 - 1,994 \rightarrow P_{nb} = 3,758 \%$$

Persentase RAP.

$$PRap = \frac{100(100 - r)}{100 - PRap - b} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - PRap - b}$$

$$PRap = 51,994 - 2,932 \rightarrow PRap = 49,062 \%$$

Persentase Agregat Baru.

$$P_{na} = r - \frac{r \cdot P_b}{100} \rightarrow P_{na} = 50 - \frac{50 \cdot 5,64}{100}$$

$$P_{na} = 50 - 2,82 \rightarrow P_{na} = 47,18 \%$$

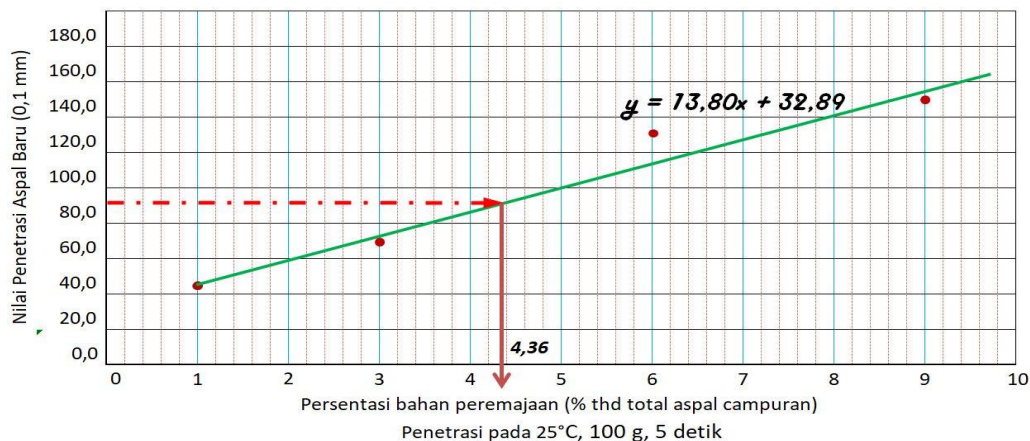
Persentase penambahan bahan peremajaan (*rejuvenile*) yang dipergunakan adalah bahan peremajaan "Nichirecki" yang di pakai oleh PT KADI INTERNATIONAL yang berasal dari Jepang. Untuk kadar aspal RAP yang ada 3,835%, penetrasi 8,0 mm, dari grafik penambahan peremajaan berdasarkan hasil uji penetrasi aspal setelah TFOT yang ditambahkan variasi persentase bahan peremajaan (1%, 3%, 6% dan 9% bahan peremajaan terhadap berat aspal, suhu pencampuran pada rentang suhu 134°C – 139°C) didapatkan sebesar 4,36 % dari total aspal pada campuran aspal mix. Hasil uji bahan peremajaan yang digunakan disajikan pada Tabel 3,

Tabel 3. Hasil Uji Bahan Peremajaan yang Digunakan

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian			Standar BM SKh-1.6.27
			1	2	Rata-rata	
1.	Viskositas Kinematis pada 60oC ; cSt	cSt	198	222	220	Maks 1.000
2.	Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	0,935	0,947	0,942	Min. 0,90
3.	Titik nyala	°C	283	280	281	Min. 232
Pengujian hasil TFOT atau RTFOT						
4.	Berat yang hilang	%	0,078	0,082	0,08	Maks. 1,5
5.	Rasio Viskositas		0,58	0,62	0,60	Maks. 2,0



Dari nilai penetrasi aspal yang terkandung pada RAP sebesar 8 mm di gambarkan pada grafik target penetrasi aspal gabungan yang berpotongan pada garis batas penetrasi aspal gabungan, kemudian dilanjutkan pembacaan nilai penetrasi aspal gabungannya yang dinamakan penetrasi aspal baru, pada penelitian ini terbaca penetrasi aspal baru sebesar 90 mm, selanjutnya penetrasi aspal baru tersebut di gambarkan lagi ke grafik yang didapat dari persentase aspal baru ditambah variasi persentase bahan peremajaan yang ditemukan suatu persamaan garis ( $y = 13,80x + 32,89$ ), maka nilai penetrasi aspal baru 90 mm tersebut di gambarkan seperti gambar 3, dimana titik perpotongan dengan persamaan garis diatas kemudian di baca pada garis persentase bahan peremajaan sebesar 4,36 %, dan nilai 4,36% dari berat total aspal dalam campuran inilah besaran untuk meremajakan aspal yang ada pada RAP, gambar 4.



Gambar 4. Nilai Persentase Penambahan Bahan Peremajaan

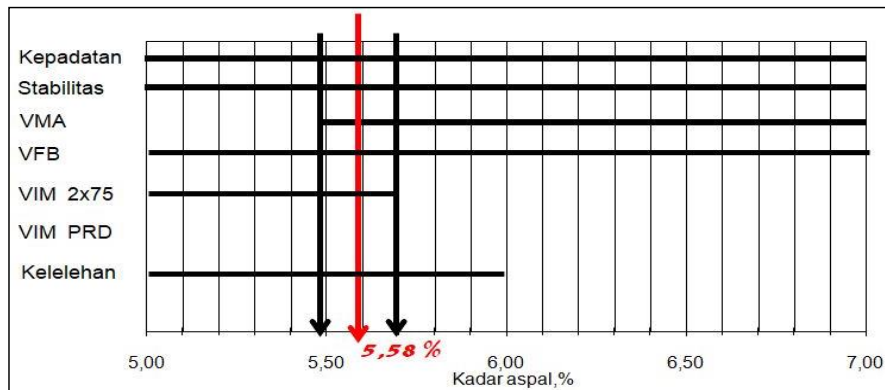
Hasil pengujian dengan peralatan marshall tes sesuai spesifikasi khusus interim Bina Marga 2019, dengan memvariasikan nilai konten aspal (5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% dari total berat campuran), diperoleh data stabilitas, kelelahan, rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFB) pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Marshall Test Campuran dengan Variasi Kadar Aspal

Kode Briket	Kadar Aspal thd Berat Agregat	Kepadatan	Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terhadap Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFB)	Satabilitas Marshall	Pelelehan	Hasil Bagi Marshall	Kadar Aspal Efektif	Tebal Film Aspal
	%	gr/cc		%	%	%	kg	mm	kg/mm	%	mikron
1	5,0	2,335	2,457	15,44	4,95	67,98	1491,82	3,81	392,03	4,68	7,76
2	5,5	2,363	2,439	14,87	3,11	79,13	1349,74	3,87	349,36	5,18	8,63
3	6,0	2,368	2,422	15,15	2,23	85,27	1382,53	4,03	342,73	5,68	9,52
4	6,5	2,350	2,405	16,24	2,28	85,96	1142,09	4,20	272,47	6,18	10,41
5	7,0	2,346	2,388	16,84	1,78	89,50	1076,51	4,30	250,89	6,69	11,32



Berdasarkan hasil uji marshal untuk campuran Aspal Hot-mix dengan kadar aspal yang bervariasi 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% dari berat total campuran, di digambarkan secara grafis serta dianalisa data grafis tersebut berdasarkan spesifikasi khusus interim Bina Marga 2019 untuk mendapatkan kadar aspal optimum dari campuran, seperti disajikan pada Gambar 5. Dimana dalam masing-masing perasetase kadar aspal tersebut, terkandung bahan peremajaan sebesar 4,36 % terhadap berat total aspal dalam campuran, (*bahan peremajaan 4,36 % ini merupakan besaran persentase bahan peremajaan yang ada dalam kadar aspal campuran yang fungsinya dalam campuran daur ulang (RAP) ini adalah sebagai bahan untuk meremajakan kembali kandungan aspal yang ada pada RAP supaya aspal yang ada pada RAP tersebut dapat bersenyawa lagi dengan tambahan aspal baru*),



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Marshall dari Variasi Kadar Aspal untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 5, didapat kadar aspal optimum sebesar 5,58%. Pada kadar aspal optimum campuran tersebut dilakukan marshall test kembali untuk mengetahui stabilitas sisa dari campuran tersebut dengan perbandingan benda uji perendaman dalam water bath 30 menit dan 24 jam pada suhu air yang sama 60°C, hasil perbandingan stabilitas rendamam 30 menit dan 24 jam adalah stabilitas sisa dari campuran, sebesar 92,75% (Tabel 5).

Tabel 5. Hasil Uji Marshall Untuk Stabilitas Sisa.

Kode Briket	Kadar Aspal		Isi Benda Uji cc	Kepadatan gr/cc	Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA) %	Rongga Terhadap Campuran (VIM) %	Rongga Terisi Aspal (VFB) %	Satabilitas Marshall kg	Pelelehan mm	Hasil Bagi Marshall kg/mm	Kadar Aspal Efektif %	Tebal Film Aspal mikron	
	thd Berat Agregat %	thd Berat Campuran %												
<b>Rendaman Braket selama 30 menit</b>														
1		5,58	492,8	2,309	2,386	14,11	3,23	77,08	1114,8	3,30	337,8	4,90	8,14	
2		5,58	490,0	2,309	2,386	14,12	3,25	77,01	1163,9	3,50	332,6	4,90	8,14	
3		5,58	492,2	2,301	2,386	14,39	3,55	75,32	1114,8	3,40	327,9	4,90	8,14	
		<b>5,58</b>		<b>2,306</b>	<b>2,386</b>	<b>14,20</b>	<b>3,34</b>	<b>76,47</b>	<b>1131,16</b>	<b>3,40</b>	<b>332,75</b>	<b>4,90</b>	<b>8,14</b>	
<b>Rendaman Braket selama 24 jam</b>														
1		5,58	492,5	2,313	2,386	13,94	3,05	78,14	1032,8	3,10	333,2	4,90	8,14	
2		5,58	495,6	2,295	2,386	14,61	3,80	74,00	1065,6	3,10	343,7	4,90	8,14	
3		5,58	495,5	2,312	2,386	13,97	3,08	77,93	1049,2	3,00	349,7	4,90	8,14	
		<b>5,58</b>		<b>2,307</b>	<b>2,386</b>	<b>14,17</b>	<b>3,31</b>	<b>76,69</b>	<b>1049,19</b>	<b>3,07</b>	<b>342,21</b>	<b>4,90</b>	<b>8,14</b>	
Stabilitas Marshall Sisa Perendaman 24 jam pada suhu 60°C =						$\frac{1049,19}{1131,16} \times 100 = 92,75$								



Hasil uji stabilitas sisa tanpa karet alam cair pra-vulkanisasi menunjukkan bahwa gradasi agregat, film aspal, rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam mineral agregat (VMA), masih dalam batas toleransi dari spesifikasi khusus interim Bina Marga 2019. Hasil uji stabilitas sisa tanpa karet alam cair terangkum dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rangkuman Hasil Uji Stabilitas Sisa tanpa Karet Alam Cair pra-vulkanisasi

No	Uraian	Satuan	Hasil Uji	Standar Skh-1.6.27 BM 2019
1.	Kadar Aspal Optimum	%	5,58	-
2.	Kepadatan (Density)	Ton/m <sup>3</sup>	2,307	-
3.	Rongga terisi aspal (VFB)	%	76,69	Min. 65
4.	Rongga dalam campuran (VIM)	%	3,31	3 ~ 5
5.	Rongga dalam mineral agregat (VMA)	%	14,17	Min. 14
6.	Stabilitas Marshall	kg	1.049	Min. 1.000
7.	Pelelehan	mm	3,07	2 ~ 4
8.	Kadar Aspal Efektif	%	4,90	-
9.	Stabilitas Marshall sisa	%	92,75	Min. 90

### 3. Persentase penambahan karet alam cair Pra-vulkanisasi.

Campuran aspal hot-mix daur ulang (*Reclaimmed Asphalt Pavement*) RAP sebesar 49,13%, agregat baru sebesar 47,24%, aspal bitumen baru (*fress*) sebesar 3,26%, dan bahan peremajaan (*Rejuvenile*) sebesar 0,20% dari berat total campuran, ditambahkan dengan karet alam cair pra-vulkanisasi dengan variasi mulai dari 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% dari berat total aspal optimum dalam campuran. Hasil uji campuran dengan variasi karet tersebut sebagai berikut Tabel 8.

Uji penambahan karet alam cair pra-vulkanisasi dianalisis berdasarkan parameter marshall stabilitas, pelelehan (flow), kepadatan, rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFB) dengan berpedoman pada nilai batasan pada spesifikasi khusus interim Bina Marga 2019. Hasil uji menunjukkan nilai stabilitas yang tinggi (spesifikasi min. 1000 kg), kelelahan (flow) yang normal (spesifikasi 2 ~ 4 mm), kepadatan yang baik dan rongga dalam campuran (VIM) yang baik (spesifikasi 3 ~ 5 %), rongga dalam mineral agregat (VMA) yang baik (spesifikasi minimal 14%) dan rongga terisi aspal (VFB) yang cukup bagus (spesifikasi minimal 65%).

Tabel 7. Hasil Uji Karet Alam Cair pra-vulkanisasi yang Dipakai Dalam Campuran.

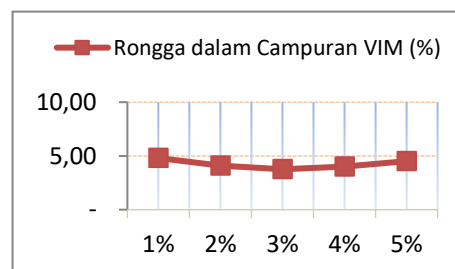
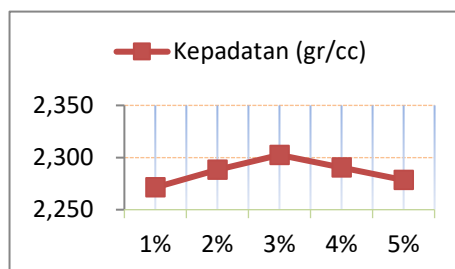
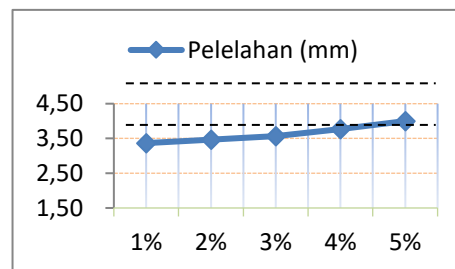
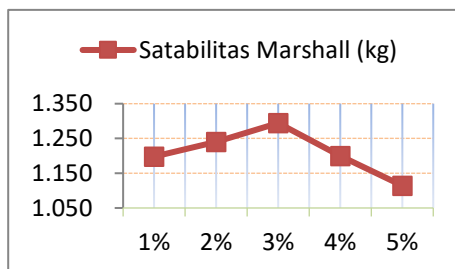
No	Jenis Pengujian	Satuan	Standar Indonesia Rubber	Hasil Pengujian
1.	Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	0,91 -0,93	0,921
2.	Kadar Jumlah Padatan	%	Min. 53	55,4
3.	Kemantapan Mekanis	detik	Min. 700	760
4.	PH	-	8 ~ 12	9,2
5.	Kadar Polimer	%	Min. 87	88,7
6.	Bilangan Khoriform	-	4	3,98
7.	Ekstrak Aseton	%	Min. 10	10,8



Hasil uji marshall campuran dengan variasi persentase karet alam cair menunjukkan bahwa hasil yang paling optimum adalah penambahan karet alam cair dengan persentase 3% dari berat total aspal seperti disajikan pada Tabel 8 dan Gambar 6.

Tabel 8. Hasil Uji Marshall Campuran dengan Variasi Persentase Karet Alam Cair

Kode Briket	Kadar Aspal thd Berat Campuran %	Kepadatan gr/cc	Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA) %	Rongga Terhadap Campuran (VIM) %	Rongga Terisi Aspal (VFB) %	Satabilitas Marshall kg	Pelelehan mm	Hasil Bagi Marshall kg/mm	Kadar Aspal Efektif %	Tebal Film Aspal mikron
a	$c=100/(100+b)^b$	$h=d/g$	$i=100/((100-c)/v+c/w)$	$j=100-(h*(100-c)/u)$	$k=100-(100*(h/i))$	$l=100*(j-k)/j$	$o=m*n$	p	$q=o/p$	$r=c-((x/100)*(100-c))$	s
	Karet Alam Cair 1% 5,58	2,271	2,386	15,50	4,81	69,46	1197,42	3,37	356,44	4,90	8,14
	Karet Alam Cair 2% 5,58	2,288	2,386	14,87	4,09	73,22	1245,87	3,47	359,45	4,90	8,14
	Karet Alam Cair 3% 5,58	2,303	2,386	14,34	3,50	75,70	1294,32	3,57	363,05	4,90	8,14
	Karet Alam Cair 4% 5,58	2,290	2,386	14,79	4,00	72,96	1190,50	3,77	316,20	4,90	8,14
	Karet Alam Cair 5% 5,58	2,278	2,386	15,23	4,51	70,43	1114,36	4,00	278,89	4,90	8,14



Gambar 6. Grafik stabilitas marshall, pelelehan (flow), kepadatan dan rongga dalam campuran (VIM) dari variasi kadar karet cair untuk mendapatkan kadar karet optimum.

#### 4. Nilai stabilitas dengan penambahan karet alam cair Pra-vulkanisasi pada campuran.

Dari hasil analisa dengan persentase karet dalam campuran sebesar 3% dari berat total aspal optimum dalam campuran dilakukan pengujian kembali dengan marshall test untuk mendapatkan nilai stabilitas sisa dengan perendaman benda uji dalam water bath selama 30 menit dan 24 jam pada suhu air yang sama 60°C, diperoleh hasil nilai stabilitas sisa perendaman 24 jam pada suhu 60°C sebesar 92,51%, seperti disajikan pada Tabel 9. Dari hasil uji tersebut diatas untuk gradasi agregat, film aspal, rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam mineral agregat (VMA), semua uji masih dalam batas toleransi dari spesifikasi khusus interim Bina Marga 2019, terangkum dalam Tabel 10.

Tabel 9. Hasil Uji Marshall Untuk Stabilitas Sisa dengan penambahan Karet 3%.

Kode Briket	Kadar Aspal thd Berat Campuran %	Kepadatan gr/cc	Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA) %	Rongga Dalam Campuran (VIM) %	Rongga Terisi Aspal (VFB) %	Satabilitas Marshall kg	Pelelehan (Flow) mm	Hasil Bagi Marshall kg/mm	Kadar Aspal Effektif %	Tebal Film Aspal mikron	
a	$c=100/(100+b)*b$	$h=d/g$	$i=100/((100-c)/v+c/w)$	$j=100-(h*(100-c)/u)$	$k=100-(100*(h/i))$	$l=100*(j-k)/j$	$o=m*n$	p	$q=o/p$	$r=c-((x/100)*(100-c))$	s	
<b>Rendaman Braket selama 30 menit</b>												
1	5,58	2,253	2,386	16,18	5,57	65,55	1308,2	3,70	353,6	4,90	8,14	
2	5,58	2,248	2,386	16,38	5,80	64,62	1328,9	3,60	369,1	4,90	8,14	
3	5,58	2,320	2,386	13,68	2,76	79,86	1245,9	3,50	356,0	4,90	8,14	
	<b>5,58</b>	<b>2,274</b>	<b>2,386</b>	<b>15,41</b>	<b>4,71</b>	<b>70,01</b>	<b>1294,32</b>	<b>3,60</b>	<b>359,56</b>	<b>4,90</b>	<b>8,14</b>	
<b>Rendaman Braket selama 24 jam</b>												
1	5,58	2,298	2,386	14,52	3,70	74,54	1225,1	3,20	382,8	4,90	8,14	
2	5,58	2,308	2,386	14,14	3,27	76,85	1204,3	3,10	388,5	4,90	8,14	
3	5,58	2,303	2,386	14,33	3,48	75,69	1162,8	3,00	387,6	4,90	8,14	
	<b>5,58</b>	<b>2,303</b>	<b>2,386</b>	<b>14,33</b>	<b>3,48</b>	<b>75,69</b>	<b>1197,42</b>	<b>3,10</b>	<b>386,32</b>	<b>4,90</b>	<b>8,14</b>	
Stabilitas Marshall Sisa Perendaman 24 jam pada suhu 60°C =							$\frac{1197,42}{1294,32} \times 100 = 92,51$					

Tabel 10. Rangkuman hasil uji stabilitas sisa dengan penambahan karet alam cair pra-vulkanisasi sebesar 3% dari total berat aspal optimum dalam campuran

No	Uraian	Satuan	Hasil Uji	Standar Skh-1.6.27 BM 2019
1.	Kadar Aspal Optimum	%	5,58	-
2.	Kadar Karet Optimum	%	3,00	-
3.	Kepadatan (Density)	Ton/m <sup>3</sup>	2,303	-
4.	Rongga terisi aspal (VFB)	%	75,69	Min. 65
5.	Rongga dalam campuran (VIM)	%	3,48	3 ~ 5
6.	Rongga dalam mineral agregat (VMA)	%	14,33	Min. 14
7.	Stabilitas Marshall	kg	1.197	Min. 1.000
8.	Pelelehan	mm	3,10	2 ~ 4
9.	Marshall Quotient	Kg/mm	386,32	-
10.	Stabilitas Marshall sisa	%	92,51	Min. 90

#### 5. Aspek teknis campuran.

Hasil analisa pada campuran aspal panas hot-mix lapis permukaan (Ac-Wc) yang terdiri dari material RAP sebesar 49,13%, agregat baru sebesar 47,24%, aspal bitumen baru (*fress*) sebesar 3,26%, sedangkan bahan peremajaan (*Rejuvenile*) sebesar 0,20 %, serta karet alam cair pra-vulkanisasi sebesar 0,17% dari berat total campuran, menunjukkan bahwa campuran tersebut memenuhi standar spesifikasi khusus interim Bina Marga 2019 baik secara workabilitas, durabilitas maupun stabilitas sebagai mana dirangkum pada Tabel 11.

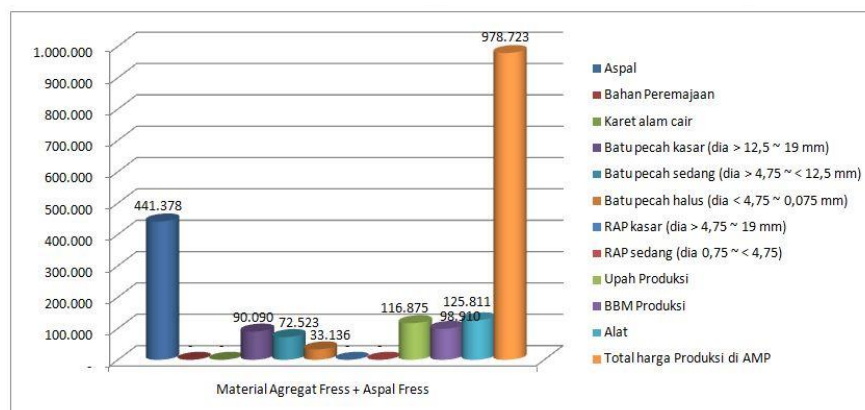
Tabel 11. Rangkuman Hasil Uji Marshall Campuran Tanpa Karet dan dengan Penambahan Karet 3%.

No	Uraian	satuan	Hasil Uji		Standar pengujian Skh-1.6.27 Bina Marga 2019
			tanpa karet alam cair pra- vulkanisasi	dengan karet alam cair pra- vulkanisasi	
1.	Kadar Aspal Optimum	%	5,58	5,58	-
2.	Kadar Karet	%	-	3,00	-
3.	Kepadatan (Density)	Ton/m <sup>3</sup>	2,307	2,303	-
4.	Rongga dalam campuran (VIM)	%	3,31	3,48	3 ~ 5
5.	Rongga dalam mineral agregat (VMA)	%	14,17	14,33	Min. 14
6.	Rongga terisi aspal (VFB)	%	76,69	75,69	Min. 65
7.	Stabilitas Marshall	kg	1.047	1.197	Min. 1.000
8.	Pelelahan (Flow)	mm	3,07	3,10	2 ~ 4
9.	Marshall Quotient	Kg/mm	342,21	386,32	-
10.	Stabilitas Marshall sisa	%	92,75	92,51	Min. 90

### 6. Aspek ekonomis campuran.

Dilihat dari sisi ekonomisnya hasil analisa pada campuran aspal panas hot-mix lapis permukaan (Ac-Wc) yang terdiri dari material RAP sebesar 49,13%, agregat baru sebesar 47,24%, aspal bitumen baru (*fress*) sebesar 3,26%, sedangkan bahan peremajaan (*Rejuvenile*) sebesar 0,20 %, serta karet alam cair pra-vulkanisasi sebesar 0,17% dari berat total campuran, masih memenuhi standar spesifikasi khusus interim Bina Marga 2019 dan cukup besar memberikan penurunan harga di dibandingkan dengan harga standarnya, terlihat dalam Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.

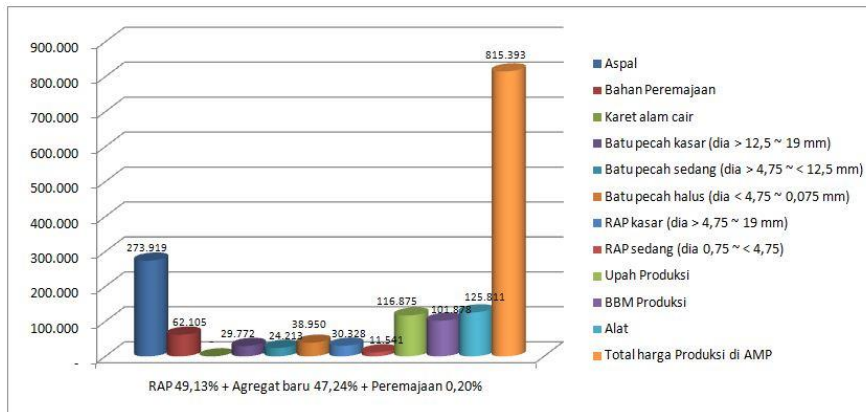
Produksi aspal hot-mix standar dengan aspal optimum 5,58% dari berat total campuran, untuk produksi 1 ton aspal hot-mix lapis permukaan (Ac-Wc) membutuhkan biaya total **Rp. 978.723,-** dimana biaya tersebut terdiri dari komponen aspal bitument Rp. 441.378,-, agregat Rp. 195.749,- biaya produksi Rp. 341.596,- terurai pada Gambar 6.



Gambar 7. Diagram Batang Harga Produksi Hot-mix Standar

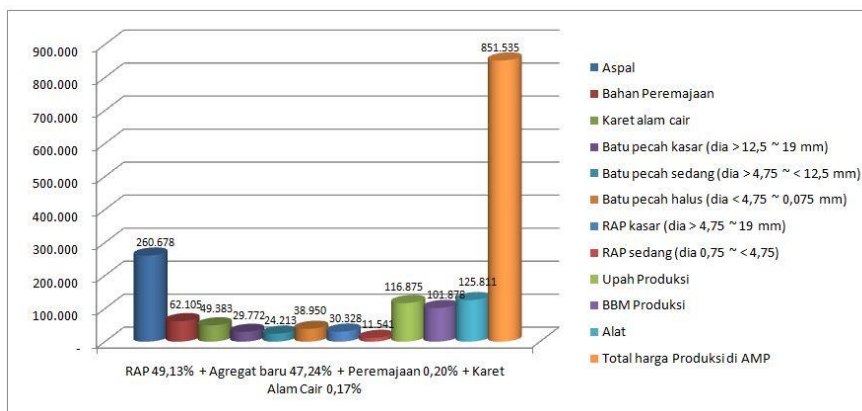


Produksi aspal hot-mix daur ulang tanpa karet dengan aspal optimum 5,58% dari berat total campuran, untuk produksi 1 ton aspal hot-mix lapis permukaan (Ac-Wc) membutuhkan biaya total **Rp. 815.393,-** dimana biaya tersebut terdiri dari komponen aspal bitument Rp. 273.919,- bahan peremajaan Rp. 62.105,- agregat baru + agregat RAP Rp. 134.804,- biaya produksi Rp. 344.564,- terurai pada Gambar 6. Terjadi penurunan nilai aspal bitument sebesar 37,94% dari nilai standarnya, tetapi ada penambahan nilai kembali sesuai persentase penambahan bahan peremajaan, penurunan nilai dari agregat sebesar 31,1% dari nilai agregat standarnya tetapi kenaikan dibiaya produksi sebesar 3% karena pemakaian bahan bakar bertambah untuk pemanasan material RAP.



Gambar 8. Diagram Batang Penurunan Harga Produksi Hot-mix Daur Ulang Tanpa Karet.

Produksi aspal hot-mix daur ulang dengan karet dengan aspal optimum 5,58% dari berat total campuran, untuk produksi 1 ton aspal hot-mix lapis permukaan (Ac-Wc) membutuhkan biaya total **Rp. 851.535,-** dimana biaya tersebut terdiri dari komponen aspal bitument Rp. 260.678,- bahan peremajaan Rp. 62.105,- karet alam cair pra-vulkanisasi Rp. 49.383,- agregat baru + agregat RAP Rp. 134.804,- biaya produksi Rp. 344.564,- terurai pada Gambar 7. Pada produksi ini ada penurunan nilai aspal bitument sebesar 40,94% dari nilai standarnya, tetapi ada penambahan nilai kembali sesuai persentase penambahan bahan peremajaan dan penambahan nilai karet alam cair sesuai persentas, penurunan nilai dari agregat sebesar 31,1% dari nilai agregat standarnya tetapi kenaikan dibiaya produksi sebesar 3% karena pemakaian bahan bakar bertambah untuk pemanasan material RAP.



Gambar 9. Diagram Batang Penurunan Harga Produksi Hot-mix Daur Ulang tambah Karet

Tabel 12. Perbandingan biaya produksi di unit produksi (AMP)

No	Uraian	satuan	Perbandingan Harga Produksi		
			Hot-mix Standar	tanpa karet alam cair pra-vulkanisasi	dengan karet alam cair pra-vulkanisasi
1.	Kadar Aspal Optimum Campuran	%	5,58	5,58	5,58
2.	Komponen Biaya Aspal Bitument ( <i>Fress</i> )	Rp/ton	441.378	273.919	260.678
3.	Komponen Biaya Bahan Peremajaan	Rp/ton	-	62.105	62.105
4.	Komponen Biaya Karet Alam Cair	Rp/ton	-	-	49.383
5.	Komponen Biaya Agregat Baru	Rp/ton	195.749	92.936	92.936
6.	Komponen Biaya RAP	Rp/ton	-	41.869	41.869
7.	Komponen Biaya Produksi	Rp/ton	341.596	344.564	344.564
8.	Total Biaya Produksi	Rp/ton	978.723	815.393	851.535
9.	Persentase Biaya	%	100,0	83,3	87,0
10.	Persentase Pengurangan Biaya	%	-	16,69	13,0

## 5. KESIMPULAN

1. Campuran aspal hot-mix daur ulang yang di tambahkan karet alam cair pra-vulkanisasi sebesar 0,17% dari total berat campuran ditinjau dari faktor *workabilitas* dan *durabilitas* memenuhi standar yang dipersyaratkan dalam spesifikasi untuk campuran daur ulang Spesifikasi Khusus Interim Skh-1.6.27 Bina Marga 2019 Campuran Beraspal Panas Daur Ulang Pencampuran di Unit Produksi Campuran Aspal.
2. Besar penambahan karet alam cair pra-vulkanisasi kedalam campuran aspal hot-mix daur ulang yang mendapatkan nilai optimum adalah penambahan karet sebesar 3% dari berat total kandungan aspal optimum dalam campuran atau setara dengan 0,17% dari berat total campuran.
3. Penambahan karet alam cair pra-vulkanisasi sebesar 0,17 % dari berat total campuran, meningkatkan nilai stabilitas marshall dari 1.049 kg tanpa karet menjadi 1.197 kg dengan karet alam cair pra-vulkanisasi. Hal ini menunjukkan cukup besar pengaruh penambahan karet tersebut kedalam campuran aspal hot-mix RAP dan menambah umur layanan dari campuran (perkerasan) serta memperkecil terjadinya perubahan bentuk (deformasi) seperti gelombang, alur dan bleeding.
4. Pengolahan material dari hasil daur ulang RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) penambahan bahan peremajaan dan penambahan karet alam cair pra-vulkanisasi dapat menghemat biaya total produksi sebesar 13,00 % di bandingkan dengan menggunakan material baru.

## 6. SARAN

1. Melaksanakan campuran aspal Hot-mix RAP ini hendaknya terlebih dahulu mengetahui kadar aspal dari RAP dan penetrasi aspal dari RAP itu sendiri.
2. Dilakukan pemilahan terlebih dahulu terhadap bongkaran yang lebih besar dari ayakan diameter 19 mm dan dilakukan perlakuan khusus dengan memisahkan secara mekanis dengan alat stone crusher yang spesifik agar batuan dari RAP tidak pecah menjadi butiran halus.
3. Pada penambahan karet kedalam campuran beraspal hot-mix hendaknya memperhatikan jenis dan kualitas karet yang akan di gunakan.



## 7. DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 2001, **Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah, Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas**, Badan Penelitian dan Pengembangan Kimbangwil – Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi dan Prasarana Jalan, Bandung.
2. Anonim, 2002, **Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas**, Jakarta.
3. Dewan Standardisasi Nasional Indonesia (DSNI), 2002. **Bahan Olahan karet**, SNI 06-2047-2002.
4. Departemen Pekerjaan Umum (DPU), 2003. **Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall**, RSNI M-01-2003.
5. Mohamad Mohajeri MSc, 2015. **Hot Mix Asphalt Recycling Practices and Principles**, Universitas Teheran geboren te Shahre Rey, Teheran, Iran.
6. Purbaya, 2011. Pengaruh Beberapa Jenis Bahan Penggumpal Lateks Dan Hubungannya Dengan Susut Bobot, Kadar Karet Kering Dan Plastisitas, **Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3 Terpublikasi, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Palembang**, Palembang.
7. Randy C. West, Ph.D., P.E. and Audrey Copeland, Ph.D., P.E. 2015. **High RAP Asphalt Pavements: Japan Practice - Lessons Learned**, NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION (NAPA).
8. Rebecca Mc Daniel and R. Michael Anderson. 2001. **Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method Technician's Manual**, NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP), Washington, D.C
9. Sukirman, S. 2003. **Beton Aspal Campuran Panas**, Penerbit Granit, Jakarta.
10. Saodang H 2004 **Perancangan Perkerasan Jalan Raya**, Bandung.Nova
11. Tim Penulis. 2008. **Panduan Lengkap Karet**. Penerbit Swadaya Jakarta.
12. The Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA), 2001. **Basic Asphalt Recycling Manual**, Federal Highway Administration.