

PENGARUH SIKLUS PERENDAMAN TERHADAP PARAMETER MARSHALL DAN DURABILITAS CAMPURAN ASPAL KARET AC-WC_{NR}

Amirudin (amierudin795@gmail.com)

Dr. Ir. Hj. Andi Marini Indriani, S. T., M. T * (andi.marini@uniba-bpn.ac.id)

Ir. Gunaedy Utomo, S. T., M. T * (gunaedy@uniba-bpn.ac.id)

ABSTRAK

Dalam peningkatan konstruksi jalan di Indonesia yang beriklim tropis, campuran aspal yang menggunakan aspal karet memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap deformasi, pengelupasan lapisan antara aspal dan agregat, serta ketahanan pada perubahan suhu lingkungan yang menyebabkan keretakan jalan. Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimen berupa pengujian marshall dengan pola perendaman basah dan kering, dimana perendaman A1 yaitu rendam 1 hari dan A2 yaitu dikeringkan 1 hari di area terbuka dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh rendaman terhadap parameter marshall dan durabilitas campuran aspal karet AC-WC_{NR}. Hasil penelitian pengaruh siklus rendaman terhadap parameter marshall yaitu VMA, VIM, dan flow mengalami penurunan pada benda uji A2 yang dikeringkan 1 hari. Sebaliknya pada nilai VFB dan stabilitas mengalami peningkatan pada benda uji A2 yang dikeringkan 1 hari. Nilai IKS dari variasi A1 ke A2 mengalami peningkatan sebesar 0,19 %. Adapun nilai IKS dari kedua variasi tersebut memenuhi persyaratan yaitu minimal 90 %. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh lama rendaman benda uji A1 dan perubahan cara rendaman A2 bersifat linier, sehingga peningkatan nilai IKS atau durabilitas yang terjadi tidak terlalu besar.

Kata Kunci: Perendaman, Parameter Marshall, Durabilitas, AC-WC_{NR}.

ABSTRACT

In improving road construction in Indonesia, which has a tropical climate, asphalt mixtures that use rubber asphalt have advantages in terms of resistance to deformation, peeling of the layer between asphalt and aggregate, as well as resistance to changes in environmental temperature which cause road cracks. The type of research used was an experiment in the form of marshall testing with wet and dry soaking patterns, where soaking A1 was soaking for 1 day and A2 was drying for 1 day in an open area with the aim of finding out the effect of soaking on marshall parameters and the durability of the AC-WC_{NR} rubber asphalt mixture. The results of the research on the effect of the immersion cycle on the Marshall parameters, namely VMA, VIM, and flow, decreased in test object A2 which was dried for 1 day. On the other hand, the VFB value and stability increased in test object A2 which was dried for 1 day. The IKS value from variations A1 to A2 increased by 0.19%. The IKS value of the two variations meets the requirements, namely a minimum of 90%. This shows that the effect of the soaking time for test specimen A1 and the change in soaking method A2 is linear, so that the increase in IKS value or durability that occurs is not too large.

Key Words: Immersion, Marshall Parameters, Durability, AC-WC_{NR}.

PENDAHULUAN

Kecelakaan lalu lintas di Indonesia sudah menjadi masalah serius akibat kerusakan pada lapis permukaan jalan (Irawati dkk., 2022). Perkerasan jalan di Indonesia yang beriklim tropis memiliki dua kondisi yaitu jalan yang terendam air dan jalan yang kering (Eljawati, 2022). Siklus basah kering yang terjadi di Indonesia akibat perubahan musim ini memiliki dampak terutama pada pekerjaan teknik sipil (Indriani dkk., 2023). Oleh karena itu, material jalan harus

disiapkan sedemikian rupa sehingga mempunyai kemampuan ketahanan terhadap rendaman dalam air dan mampu memikul beban lalu lintas pada saat cuaca panas hingga sesuai dengan umur layannya (Sunarjono dkk., 2020). Dampak yang dipicu oleh faktor lingkungan terutama genangan air hujan yang mengakibatkan kerusakan jalan semakin parah, akibatnya pemerintah mengeluarkan biaya lebih untuk perawatan jalan (Sitohang dkk., 2023).

Dalam peningkatan pembangunan suatu proyek konstruksi terutama perkerasan jalan di Indonesia (Pratiwi dkk., 2022), Pusat Penelitian Bogor dengan tim yang dibentuk Kemenperin dan PUSJATAN melakukan uji penghamparan aspal karet di beberapa lokasi, yakni daerah Sukabumi sepanjang 2 km pada November 2016, daerah Parung 600 m pada November 2017 dan daerah Karawang pada bulan Desember 2017. Hasil evaluasi uji aspal karet memberikan informasi bahwa penerapan aspal karet sedikit lebih mahal dari aspal biasa. Harga tambahan adalah 20 %, namun aspal karet membuat jalan 1,5 - 2 kali lebih tahan lama, sehingga kenaikan harga 20 % tidak signifikan dibandingkan dengan dampak kerugian finansial akibat pengaspalan ulang. Perkerasan aspal biasanya dibuat dua kali dalam lima tahun, tetapi aspal karet dapat dibuat setiap lima tahun sekali (Setyoko & Lukiawan, 2019).

Campuran aspal yang menggunakan aspal karet memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap deformasi, pengelupasan lapisan antara aspal dan agregat, serta ketahanan pada perubahan suhu lingkungan yang menyebabkan keretakan jalan (Nainggolan, 2020). Aspal karet memiliki keunggulan dibandingkan aspal murni dalam hal ketahanan terhadap deformasi (alur/cekungan) pada arah memanjang di permukaan jalan sekitar jejak roda kendaraan akibat beban lalu lintas yang berat, pengelupasan lapisan aspal dengan agregat, serta ketahanan terhadap retakan jalan akibat perubahan suhu lingkungan (Prastanto dkk., 2018). Kinerja suatu perkerasan aspal dapat ditinjau dari tingkat kemampuan daya tahan (durabilitas) terhadap pengaruh air dan perubahan suhu. Campuran aspal dengan kadar aspal yang tinggi biasanya memiliki durabilitas yang baik, tapi apabila campuran aspal dengan kadar aspal yang tinggi sering terendam air, secara bertahap jalan akan mengalami kerusakan (Handayasari dkk., 2021).

Kinerja campuran aspal bisa dianalisis dengan pengujian marshall. Hasil uji menjelaskan dua kondisi benda uji yaitu kering dan basah (Susanto dkk., 2022). Untuk mengevaluasi kinerja perkerasan aspal terhadap pengaruh banjir/genangan air perlu dilakukan penelitian mendalam terhadap *marshall immersion* yang mana berdasarkan spesifikasi menyebutkan bahwa uji keawetan (durabilitas) terhadap kadar air dilakukan dengan pengukuran nilai stabilitas marshall sisa atau indek kekuatan sisa dalam persen (Sunarjono, Anto, dkk., 2021). Sehingga penting untuk diketahui bagaimana pengaruh rendaman dan perubahan temperatur terhadap parameter marshall dan durabilitas agar dapat diprediksi umur layan perkerasan jalan lapis permukaan AC-WC_{NR}.

TINJAUAN PUSTAKA

Aplikasi Aspal Karet di Indonesia

Berdasarkan SE Menteri PUPR No. 04/SE/M/2019, laston lapis permukaan campuran beraspal yang dipasang pada perkerasan jalan paling atas dan lapis perkerasan yang secara langsung menerima pengaruh cuaca dan suhu serta menahan beban lalu lintas, dengan penggunaan aspal yang mengandung karet alam (Natural Rubber/NR) yang digunakan sebagai bahan *modifier* untuk dapat memperbaiki sifat aspal dan kinerja campuran beraspal pada lapis aus (AC-WC_{NR}).

Berdasarkan hasil kajian di laboratorium dan penerapan di lapangan, penggunaan karet alam lateks pravulkanisasi dan kompon karet alam padat antara 5 % sampai 7 % terhadap berat aspal. Pemerintah saat ini melakukan inovasi teknologi aspal karet hasil produksi PT. Polimer Emulsindo yang berasal dari kabupaten Demak, dengan produk yang berkualitas dan memenuhi standar spesifikasi umum Bina Marga dan sudah lolos uji propertis dan uji stabilitas dinamis aspal karet (*wheltreking*) di B2PJN VIII PU Bina Marga Surabaya, dan menjadikan sebagai pelopor produksi aspal karet di Provinsi Jawa Tengah (Nainggolan, 2020).

Bahan Campuran Aspal Panas

1. Agregat

Yang dimaksud dengan agregat meliputi batu paving, batu pecah, abu dan pasir. Agregat memegang peranan yang sangat penting dalam infrastruktur transportasi, terutama dalam hal ini permukaan jalan, dimana agregat merupakan bagian terbesar dari campuran, biasanya berkisar antara 90 hingga 95% dari total berat campuran (Indriani dkk., 2015). Agregat kasar dan agregat halus yang baik digunakan sebagai rencana campuran ialah agregat yang keras, awet, bebas dari lempung, bebas dari bahan yang tidak diinginkan. Fraksi agregat harus berasal dari batu pecah mesin (*stone crusher*) dalam ukuran nominal yang memenuhi spesifikasi agregat kasar dan halus.

2. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) berupa debu batu kapur (*limestone dust*), atau debu kapur padam, semen atau abu terbang. *Filler* harus kering dan bersih bebas dari gumpalan, dan lolos saringan No. 200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya sesuai SNI 03-1968-1990. Semua campuran aspal yang ditambahkan bahan pengisi harus mengandung antar 1 % - 2 % bahan pengisi dari berat total agregat.

3. Aspal

menurut Sukirman, (2016), aspal adalah zat perekat material (*viscous cementitious material*), berwarna hitam pekat atau gelap, berbentuk padat atau semi padat yang bisa diperoleh dari alam ataupun sebagai hasil produksi. Aspal merupakan salah satu komponen penting dalam pembangunan jalan, dan berperan sebagai pengikat namun tetap tidak dapat mengatasi kerusakan akibat suhu dan intensitas lalu lintas yang sangat tinggi dan terkadang tidak terkendali (Indriani dkk., 2015). Pada umumnya aspal digunakan menjadi bahan pembentuk perkerasan jalan. Adapun aspal yang digunakan pada penelitian ini yaitu aspal yang mengandung karet alam (*Natural Rubber*) yang mengacu pada persyaratan berdasarkan spesifikasi Khusus Interim Bina Marga 2018.

Gradasi Agregat Gabungan

Campuran beraspal panas yang dimodifikasi karet alam untuk gradasi agregat gabungan dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi. Ukuran saringan yang digunakan dan harus berada diantara batas atas dan bawah yaitu pada saringan No.1/2" (12,5 mm), No.4 (4,75 mm), No.8 (2,36 mm), No.16 (1,18 mm), No.30 (0,600 mm), No.50 (0,300 mm), No.100 (0,150 mm), dan No.200 (0,075 mm) (Ramadhan dkk., 2023). Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan berdasarkan pada SE Menteri PUPR No.

04/SE/M/2019, tentang ketentuan-ketentuan gradasi agregat campuran aspal dengan aspal yang mengandung aspal karet alam.

Parameter Uji Marshall

Tujuan dari uji marshall adalah untuk mengukur ketahanan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap pelelehan plastis (flow). Hasil uji menunjukkan karakteristik Marshall dan memiliki sifat-sifat yang mempengaruhi campuran, yaitu: kepadatan, rongga diantara agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam campuran pada kepadatan mutlak, stabilitas dan kelelahan serta hasil bagi Marshall/Marshall Quotient (MQ).

Ketahanan Campuran Aspal Terhadap Rendaman Air

Lapis permukaan perkerasan aspal harus memiliki kemampuan terhadap cuaca dan perubahan suhu serta menahan beban lalu lintas. Karakteristik campuran aspal yang berkaitan dengan tingkat daya tahan perkerasan jalan terhadap cuaca/iklim yaitu durabilitas. Pengaruh akibat rendaman air terhadap kinerja durabilitas perkerasan aspal dapat ditentukan dengan pengukuran stabilitas marshall sisa setelah perendaman selama 24 jam, pada temperatur 60° C, yaitu perbandingan stabilitas benda uji setelah perendaman dengan stabilitas benda uji standar dalam persen disebut juga dengan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) (Damopolii dkk., 2019). Pada spesifikasi yang syaratkan adalah minimal 90 %. Berikut perhitungan untuk menentukan indeks kekuatan sisa (IKS) dibawah ini :

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

Keterangan :

- IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%).
- S₁ = Nilai stabilitas *marshall* setelah perendaman selama 30 menit (Kg)
- S₂ = Nilai stabilitas *marshall* setelah perendaman selama 24 jam (Kg)

METODE PENELITIAN

Penyiapan, pengujian dan pengolahan sampel dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Balikpapan Jl. Pupuk Raya, Gn. Bahagia, Balikpapan, Kalimantan Timur. Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimen berupa pengujian marshall dengan perlakuan basah dan kering. Jumlah total benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini adalah sebanyak 27 buah, untuk penentuan KAO sebanyak 15 buah dan benda uji dengan variasi perendaman sebanyak 12 buah.

Alat-alat Dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah saringan agregat (*Sieve Analisis*), timbangan digital, termometer, cetakan *bricket (molt)*, alat pemadat (*compactor*), alat pengangkat *bricket* (dongkrak hidrolis), *water bath*, alat uji *marshall*, dan alat penunjang lainnya. Adapun bahan-bahan yang digunakan adalah bahan material agregat kasar dan agregat halus yang digunakan merupakan material lokal hasil produksi *stone crusher* PT. Kuarindo Pratama Jaya yang berasal

dari daerah Petangis Kabupaten Paser Kalimantan Timur (Fadli dkk., 2023), filler menggunakan abu batu yang lolos saringan No. 200, dan aspal karet yang bersumber dari hasil produksi PT. Aspal Polimer Emulsindo beserta dengan hasil uji aspal.

Rancangan Perendaman Benda Uji

Pada tahap ini perendaman benda uji dilakukan dengan perlakuan basah yaitu direndam dalam suhu ruang dan kering yaitu dikeringkan diluar ruangan secara langsung oleh sinar matahari, setelah itu direndam dalam waterbath dengan suhu 60° C. Ada pun komposisi durasi perendaman sebagai berikut.

Tabel 1. Komposisi Pola Rendaman

KOMPOSISI PERENDAMAN				
Fase	Waktu	Pola Perendaman	Perendaman Dalam Waterbath 60° C	
			30 Menit	24 Jam
1 Fase	1 Hari	A ₁ : basah/rendaman 1 hari	3 benda uji	3 benda uji
		A ₂ : kering 1 hari	3 benda uji	3 benda uji

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Aspal Karet

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan aspal yang mengandung karet alam (Natural Rubber/NR). Hasil pemeriksaan karakteristik aspal ini mengacu pada persyaratan berdasarkan spesifikasi tentang campuran beraspal panas dengan aspal yang mengandung karet alam. Berikut hasil pemeriksaan karakteristik aspal karet pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Uji Karakteristik Aspal Karet

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	Keterangan
Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik	51	Min. 50 dmm	Memenuhi
Viskositas pada 135°C	1063,6	≤ 2000 cSt	Memenuhi
Titik lembek	54,9 2	≥ 53 °C	Memenuhi
Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit	> 140	≥ 100 cm	Memenuhi
Titik nyala (COC)	302	≥ 232 °C	Memenuhi
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃	99,1	≥ 99 %	Memenuhi
Berat jenis	1,023	≥ 1.0	Memenuhi
Perbedaan titik lembek setelah stabilitas penyimpanan	1,0	≥ 2,2 °C	Memenuhi
Pengujian Residu Hasil TFOT pada 163C, 5 jam			
Berat yang hilang (TFOT)	0,170	≤ 0.5 %	Memenuhi
Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik	77,1	≥ 54 %	Memenuhi
Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit	57	≥ 50 cm	Memenuhi
Keelastisan setelah pengembalian	60,0	≥ 30 %	Memenuhi

Sumber : Hasil uji PT. Aspal Polimer Emulsindo

Pemeriksaan Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah desa Petangis Kabupaten Tanah Grogot, Kalimantan Timur. Hasil pemeriksaan sifat fisik agregat kasar, agregat halus, dan abu

batu meliputi pemeriksaan kadar air, abrasi dengan alat Los Angeles, dan berat jenis dan penyerapan. Berikut hasil pemeriksaan agregat terlampir pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Uji Pemeriksaan Agregat

Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Agregat Kasar			
Kadar Air	2.409	Maks. 3 %	Memenuhi
Abrasi	26.60	Maks. 40 %	Memenuhi
Berat Jenis	2.612	2,5 - 2,8 %	Memenuhi
Penyerapan	0.696	Maks. 3 %	Memenuhi
Agregat Halus			
Kadar Air	4.384	Maks. 5%	Memenuhi
Berat Jenis	2.602	2.5 - 2.7 %	Memenuhi
Penyerapan	1.147	Maks. 3 %	Memenuhi
Abu Batu (Filler)			
Berat Jenis	2.590	2.5 - 2.7 %	Memenuhi
Penyerapan	0.638	Maks. 3 %	Memenuhi

Komposisi Berat Agregat dengan Variasi Kadar Aspal

Didapat perkiraan kadar aspal sebesar 5,54 % dibulatkan menjadi 6 %, jadi komposisi kadar aspal yang digunakan untuk KAO yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Berikut hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap komposisi kadar aspal.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Berat Agregat Pada Setiap Kadar Aspal

Kadar Aspal		No. Saringan									
(%)	(gr)	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	Filler
5	60	28.1	138.7	282.9	225.0	151.7	128.5	55.2	20.8	47.1	61.9
5.5	66	28.0	138.0	281.4	223.8	150.9	127.9	54.9	20.7	46.8	61.6
6	72	27.8	137.3	279.9	222.6	150.1	127.2	54.6	20.6	46.6	61.2
6.5	78	27.7	136.6	278.4	221.4	149.3	126.5	54.4	20.5	46.3	60.9
7	84	27.5	135.8	276.9	220.3	148.5	125.8	54.1	20.4	46.1	60.6

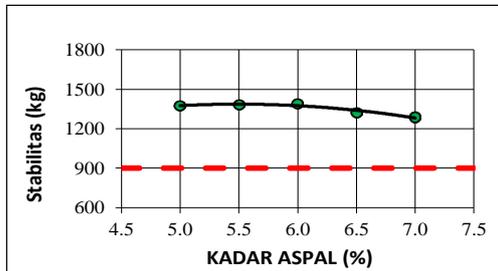
Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan data kinerja suatu campuran aspal dengan menggunakan alat uji marshall dengan berpedoman pada SNI 06-2489-199. Pengujian marshall untuk penentuan KAO dilakukan pada 5 variasi kadar aspal, yaitu 5 %, 5,5 %, 6 %, 6,5 %, dan 7 %.

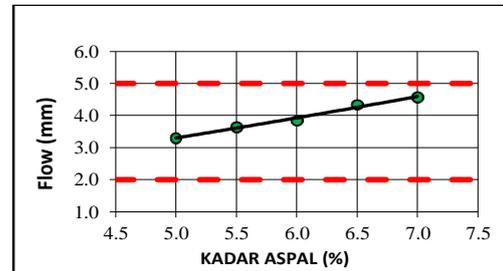
Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Uji Marshall Campuran Aspal Karet

Parameter	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	5	5.5	6	6.5	7	
VMA	15.9	16.7	16.7	17.1	17.5	Min. 15
VIM	5.7	5.4	4.2	3.5	2.7	3-5
VFB	64.5	67.8	74.8	79.9	84.7	Min. 65

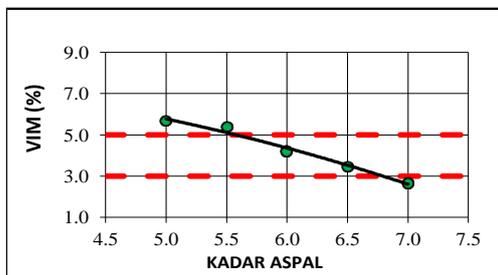
Stabilitas	1,456	1,412	1,390	1,324	1,287	Min. 900
Flow	3.30	3.63	3.85	4.33		2-5



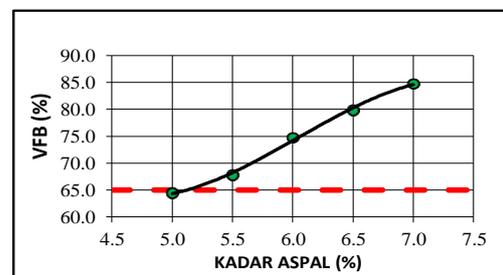
(a). Grafik Hubungan Stabilitas Dan Kadar aspal



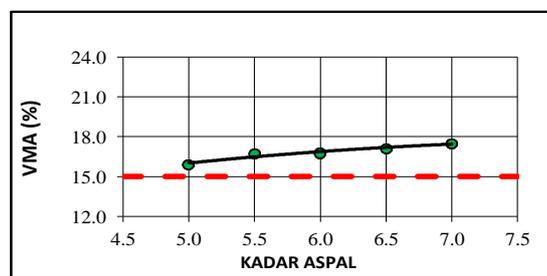
(b). Grafik Hubungan Flow Dan Kadar aspal



(c). Grafik Hubungan VIM Dan Kadar aspal



(d). Grafik Hubungan VFB Dan Kadar aspal



(e). Grafik Hubungan VMA Dan Kadar aspal

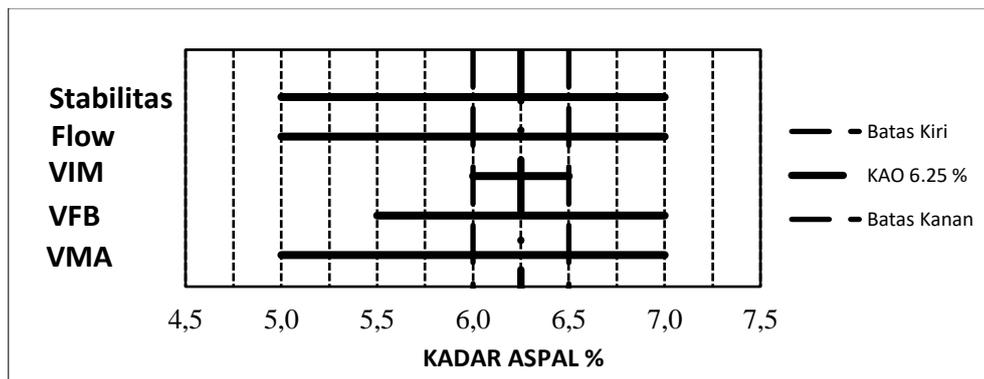
Gambar 1. Grafik Hubungan Antara Parameter Marshall dan Kadar Aspal

Gambar (a) menjelaskan stabilitas pada campuran normal mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar aspal hingga kadar aspal 6 %, kemudian menurun mulai dari kadar 6,5 % seiring bertambahnya kadar aspal. Namun masih dalam batas minimum stabilitas yaitu 900 kg. Gambar (b) pada nilai flow mengalami peningkatan, hal ini akibat dari terlalu banyaknya rongga yang terisis aspal sehingga campuran akan cenderung bersifat plastis, batas spesifikasinya yaitu antara 2 - 5 mm, dan masih dalam memenuhi persyaratan. Gambar (c) menjelaskan bahwa VIM mengalami penurunan, nilai VIM yang disyaratkan spesifikasi yaitu 3 - 5 %. Nilai VIM yang memenuhi spesifikasi hanya pada kadar aspal 6 % dan 6,5 % yaitu sebesar 4,2 % dan 3,5 %. Gambar (d) menunjukkan nilai VFB meningkat dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai VFB pada kadar aspal 5 % tidak memenuhi syarat yaitu minimal 65 %. Gambar (e) menjelaskan nilai

VMA mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar aspal hal ini dapat terjadi karena film aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal sehingga menyebabkan jarak antar agregat semakin jauh yang berakibat pada naiknya nilai VMA. Batas spesifikasi untuk nilai VMA yaitu minimal 15 %.

Kadar Aspal Optimum

Spesifikasi yang digunakan dalam penentuan kadar aspal optimum yaitu spesifikasi berdasarkan SE Menteri PUPR No. 04/SE/M/2019, tentang campuran aspal karet. Penentuan kadar aspal optimum dapat di analisa dengan cara grafis yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan pada Gambar 2 diatas dapat dilihat parameter marshall yang semua memenuhi spesifikasi yaitu stabilitas, flow, dan VMA. Untuk VIM yang memenuhi spesifikasi hanya pada kadar aspal 6 % - 6,5 %, sedangkan VFB pada kadar aspal 5,5 % - 7 %. Maka diperoleh kadar aspal optimum yang akan digunakan pada campuran aspal karet adalah sebesar 6,25 %.

Pengaruh Perendaman Benda Uji Terhadap Parameter Marshall

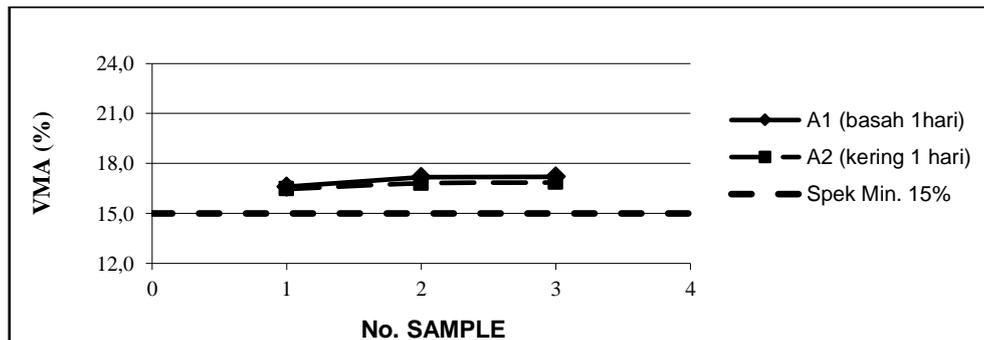
Berkut terlampir rekapitulasi hasil uji marshall akibat pengaruh rendaman dengan pola basah kering bisa dilihat dibawah ini pada lampiran Tabel 7.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Uji Marshall Akibat Pengaruh Perendaman

Fase Rendaman		Parameter				
No.	1 Fase	VMA	VIM	VFB	Stabilitas	Flow
1	A1	16.6	3.46	79.2	1,370	3.70
2		17.2	4.11	76.1	1,375	3.30
3		17.2	4.14	75.9	1,335	3.60
Average		16.99	3.90	77.05	1,375	3.53
1	A2	16.5	3.29	80.0	1,390	3.40
2		16.8	3.69	78.0	1,412	3.30
3		16.9	3.75	77.8	1,346	3.50
Average		16.71	3.58	78.61	1,383	3.40
Spesifikasi		Min. 15 %	3-5 %	Min. 65%	Min. 900 kg	2-5 mm

Setelah pengujian benda uji perendaman diuji dengan alat marshall didapat data nilai stabilitas dan flow dari dial pembacaan alat marshall, selanjutnya data diolah untuk mendapatkan nilai parameter marshall dan di analisa dengan grafik perbandingan antara VMA, VIM, VFB, stabilitas, dan Flow akibat dari pengaruh perendaman.

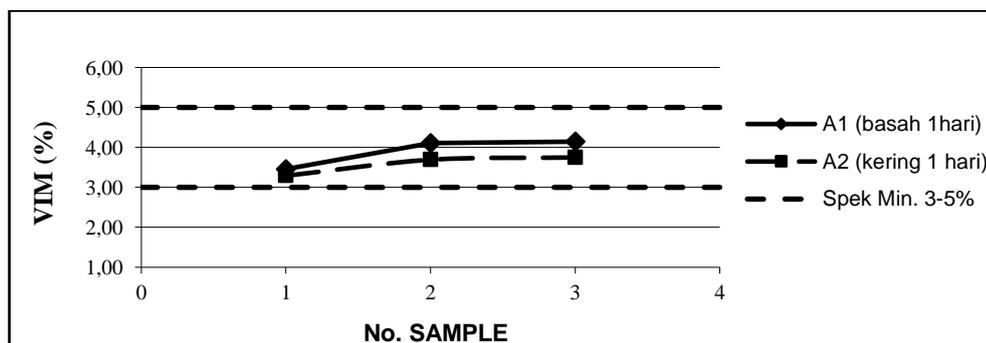
1. Pengaruh perendaman terhadap kepadatan rongga dalam agregat (VMA)



Gambar 3. Grafik Perbandingan Pengaruh Perendaman A1 dan A2 Terhadap Kepadatan Rongga Dalam Agregat (VMA)

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada 3 buah benda uji masing-masing perlakuan perendaman A1 memiliki nilai VMA yang lebih besar dari perlakuan A2, dengan nilai rata-rata setiap perendaman A1 sebesar 16,99 % dan A2 sebesar 16,71 %. Hal ini terjadi karena pada perendaman A1 telah direndam selama 1 hari dan air yang terserap dalam rongga antar butir agregat lebih banyak terisi air jika dibandingkan dengan benda uji A2 yang dikeringkan. Hal ini didukung oleh Mishra & Gupta. (2020), menyatakan terjadi sedikit penurunan pada rongga udara campuran BC yang diproses kering dibandingkan dengan campuran BC yang diproses basah. Sampel kering dan basah, ditemukan memenuhi persyaratan standar minimum 15%.

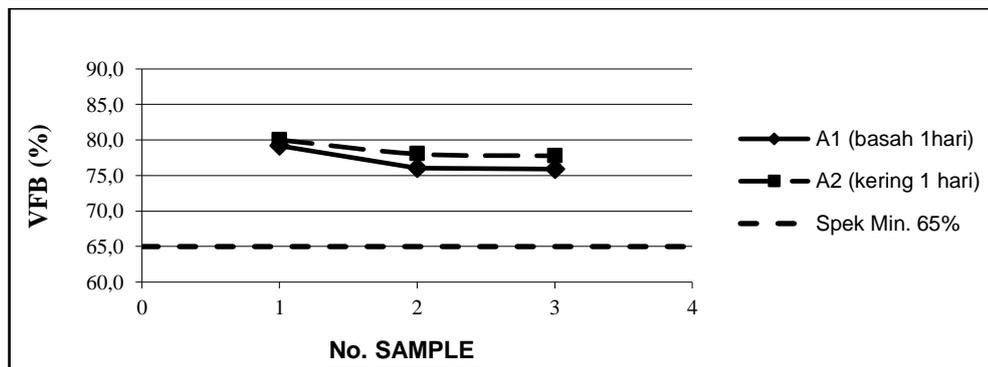
2. Pengaruh perendaman terhadap rongga dalam campuran (VIM)



Gambar 4. Grafik Perbandingan Pengaruh Perendaman A1 dan A2 Terhadap Rongga dalam Campuran (VIM)

Gambar 4 menunjukkan bahwa pada 3 buah benda uji masing-masing A1 memiliki nilai VIM yang lebih besar dari A2. Jika dilihat dari perbandingan masing-masing contoh benda uji A1 dan A2 penurunan nilai VIM pada kedua benda uji ini sebesar 0,33 %, dengan rendaman A1 memiliki nilai VIM rata-rata sebesar 3,90 % sedangkan nilai VIM A2 yang dikeringkan sebesar 3,58 %. Hal ini menjelaskan bahwa benda uji A1 yang direndam selama sehari memiliki nilai VIM yang lebih besar dikarenakan benda uji A1 lebih lama terendam air dan akan terinfiltrasi kedalam rongga-rongga yang tersisa pada campuran jika dibandingkan dengan A2 yang dikeringkan, hasil ini sesuai dengan pernyataan Sunarjono dkk. (2021), dimana adanya pembebanan dan lama rendaman akan membuat rongga campuran semakin besar.

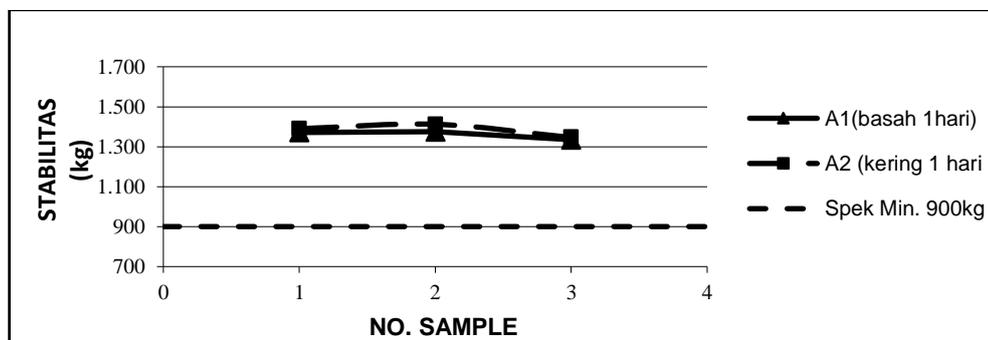
3. Pengaruh perendaman terhadap rongga terisi aspal (VFB)



Gambar 5. Grafik Perbandingan Pengaruh Perendaman A1 dan A2 Terhadap Rongga dalam Campuran (VFB)

Gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan pengaruh perlakuan A1 dan A2 terhadap VFB, dimana perlakuan A1 yaitu basah 1 hari dan A2 yaitu dikeringkan 1 hari di area terbuka. Dapat dilihat bahwa nilai VFB pada 3 buah benda uji masing-masing mengalami peningkatan sebesar 1,56 %, dengan nilai rata-rata perlakuan rendaman A1 sebesar 77,05 % dan A2 sebesar 78,61 %. Menurut Susanto dkk. (2022), nilai VFB benda uji terendam lebih rendah dibandingkan benda uji kering. Nilai VFB tersebut masih memenuhi spesifikasi yaitu minimal 65 %.

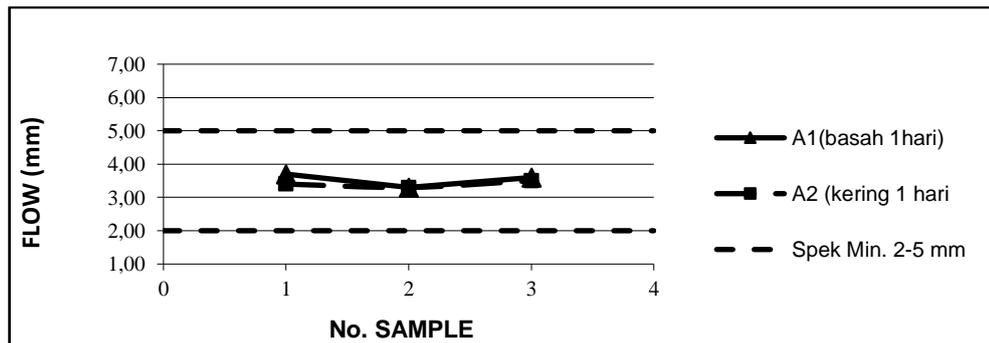
4. Pengaruh perendaman terhadap Stabilitas



Gambar 6. Grafik Perbandingan Pengaruh Perendaman A1 dan A2 Terhadap Stabilitas

Gambar 6 menunjukkan grafik perbandingan pengaruh perlakuan perendaman A1 dan pengeringan A2 terhadap stabilitas. Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal dalam menerima beban tanpa terjadinya deformasi. Pada grafik diatas nilai stabilitas mengalami kenaikan sebesar 1,66 % pada perlakuan A2 yang dikeringkan, sebaliknya A1 yang terendam air lebih rendah (Lu dkk., 2021). Hal ini menjelaskan bahwa penurunan nilai stabilitas A1 lebih rendah karena pengaruh lama rendaman (Kabo dkk., 2021). Dimana nilai rata-rata stabilitas pada rendaman A1 sebesar 1360 kg dan A2 sebesar 1383 kg.

5. Pengaruh perendaman terhadap kelelahan (*Flow*)



Gambar 7. Grafik Perbandingan Pengaruh Perendaman A1 dan A2 Terhadap Kelelahan (*Flow*)

Gambar 7 menunjukkan bahwa grafik perbandingan nilai flow pada A2 menurun sebesar 0.13 mm, dimana nilai rata-rata flow pada rendaman A1 sebesar 3,53 mm dan A2 sebesar 3,40 mm. Sitohang dkk., (2023) menggambarkan nilai flow bertambah seiring dengan bertambahnya waktu perendaman jika dibandingkan dengan benda uji A2 yang dikeringkan artinya pengaruh waktu perendaman akan memberikan peningkatan nilai aliran yang signifikan, namun penurunan tersebut masih memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu 2 - 5 mm.

Durabilitas Campuran Aspal Karet

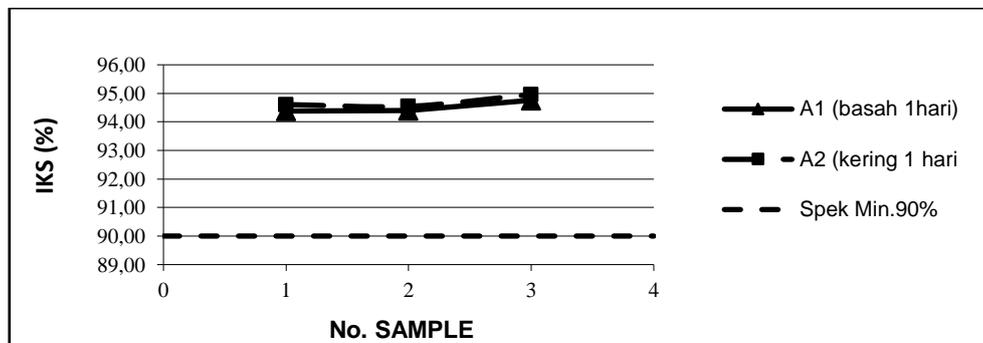
Untuk mengetahui seberapa besar nilai durabilitas suatu campuran aspal yang disebabkan oleh rendaman air yaitu dengan indikator pengukuran nilai indeks kekuatan sisa (IKS) dalam persen setelah perendaman selama 24 jam pada suhu 60° C dan dibandingkan dengan perendaman standar. Berdasarkan SE Menteri PUPR No. 04/SE/M/2019, indeks kekuatan sisa/stabilitas marshall sisa setelah perendaman 24 jam pada temperatur 60° C yang disyaratkan adalah minimal 90 %.

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai Indeks Kekuatan Sisa Setelah Perendaman 24 Jam

Benda Uji	Perendaman	Stabilitas Marshall		IKS	Average	Spesifikasi
		Perendaman 30 menit	Perendaman 24 jam			
1	A1	1,370	1,293	94.38	94.51	Min. 90 %
2		1,375	1,298	94.40		
3		1,335	1,265	94.76		
1	A2	1,390	1,315	94.61	94.70	
2		1,412	1,335	94.54		

3 1,346 1,278 94.96

Pada Tabel 8 diatas menyatakan hasil rekapitulasi perhitungan indek kekuatan sisa setelah perendaman 24 jam dengan temperature 60° C. Berikut grafik perbandingan nilai IKS antara perendaman A1 dan A2 campuran aspal karet dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Pengaruh Perendaman A1 dan A2 Terhadap Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Gambar 8 menunjukkan bahwa pada grafik diatas menjelaskan nilai indeks kekuatan sisa dari variasi A1 ke A2 mengalami peningkatan sebesar 0,19 %, dengan nilai indeks kekuatan sisa rata-rata didapat pada A1 sebesar 94,51 % dan A2 sebesar 94,70 %. Peningkatan nilai IKS ini terjadi karena pengaruh perlakuan lama waktu rendaman air pada benda uji A1, kemudian dibandingkan dengan variasi A2 yang dikeringkan yang tidak terendam air tentu tidak terlalu berefek pada nilai IKS akibat perubahan rendaman dan perubahan temperatur 60° C dan 25° C (Sunarjono dkk., 2020). Adapun nilai indeks kekuatan sisa dari kedua variasi tersebut memenuhi persyaratan yaitu minimal 90 %, berdasarkan spesifikasi SE Menteri PUPR No. 04/SE/M/2019, tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston yang mengandung karet alam.

KESIMPULAN

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil menunjukkan KAO yang digunakan pada penelitian ini sebesar 6,25%. Hasil pengaruh perbandingan perlakuan basah kering antara A1 yaitu direndam 1 hari pada suhu ruang dan A2 dikeringkan 1 hari diarea terpapar matahari terhadap parameter marshall yaitu VMA, VIM, dan flow mengalami penurunan. Selanjutnya pada nilai VFB dan stabilitas mengalami peningkatan, dimana nilai VFB pada 3 buah benda uji perlakuan A2 kering mengalami peningkatan sebesar 1.56 %, dan Nilai stabilitas mengalami kenaikan sebesar 1,66 % pada benda uji A2 yang dikeringkan. Adapun hasil uji perendaman terhadap parameter marshall masih memenuhi syarat spesifikasi campuran aspal karet berdasarkan SE Menteri PUPR No. 04/SE/M/2019, tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston yang mengandung karet alam.
2. Nilai indeks kekuatan sisa dari variasi A1 ke A2 mengalami peningkatan sebesar 0,19 %, dengan nilai indeks kekuatan sisa rata-rata didapat pada A1 sebesar 94,51 % dan A2 sebesar 94,70 %. Adapun nilai indeks kekuatan sisa dari kedua variasi tersebut memenuhi persyaratan yaitu minimal 90 %. Hal ini menjelaskan bahwa penggunaan campuran aspal

karet mempunyai nilai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal pada umumnya, hal ini disebabkan karena aspal karet lebih kaku sehingga penyerapan air dalam campuran lebih sedikit/kedap air jika dilihat dari perlakuan basah kering benda uji (Mawarni & Fauziah, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh lama rendaman benda uji A1 dan perubahan cara rendaman A2 bersifat linier, sehingga peningkatan nilai IKS yang terjadi tidak terlalu besar.

Daftar Pustaka

- Damopolii, A. T. A., Faisal, F., Arifin, W., Massara, A., & Salim, S. (2019). *Analisis Pengaruh Perendaman terhadap Durabilitas dan Kuat Tarik Tidak Langsung pada Campuran Beton Aspal*. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 324–331.
- Eljawati, in. (2022). *Pengaruh Variasi Perendaman Pada Campuran Aspal Panas Terhadap Nilai Karakteristik Marshall*. Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Fadli, K., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2023). *Analisis Kuat Lentur Beton Menggunakan Plastik Jenis Polyhyhylene Terephthele (PET) Sebagai Rigid Pavement*. *KoNTekS Ke-17 Balikpapan, 1*.
- Handayasari, I., Kusumastuti, D. P., & Chairat, A. S. N. (2021). *Analisis Stabilitas Dan Durabilitas Campuran Pada Aspal Modifikasi Menggunakan Polimer LDPE*. *Jurnal Penelitian Sekolah Tinggi Transportasi Darat*, 12(1), 74–80. <https://doi.org/10.55511/jpsttd.v12i1.563>
- Indriani, A. M., Sugianto, A., & Faisal, F. (2015). *Analisis Penggunaan Batu Split Long Ikis Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC (Asphalt Choncrete- Wearing Course)*. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.32487/jtt.v3i2.85>
- Indriani, A. M., Utomo, G., & Syahputra, M. R. (2023). *Pengaruh Siklus Basah Kering terhadap Perilaku Mekanik Tanah Lempung Stabilisasi Biosementasi dengan Bakteri Bacillus Subtilis*. *CIVED*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.24036/cived.v10i2.123404>
- Irawati, I., Hamduwibawa, R. B., & Sugianto, D. (2022). *Pemodelan Pengaruh Lama Perendaman Air Terhadap Nilai Stabilitas Hot Mix Asphalt*. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 7(1), 16–24.
- Kabo, D. R. G. 1, Tumpu, M. 2, & Parung, H. 3 1 L. (2021). *Influence of Water Immersion on Stability of AC-WC Mixed with Gondorukem Additional Material*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/921/1/012067>
- Lu, J., Gong, M., Chen, J., Zhang, D., & Liu, Z. (2021). *Study on the decay behavior of the stability of asphalt mixture under different dry-wet cycle conditions*. *Construction and Building Materials*, 296, 123307. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123307>
- Mawarni, O. S. T., & Fauziah, M. (2019). *The effect of sea water soak on asphalt porous characteristics with and without waste of rubber tire waste as an asphalt addictive*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 669(1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/669/1/012046>

- Mishra, B., & Gupta, M. K. (2020). *Use of plastic waste in bituminous mixes by wet and dry methods*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer. <https://doi.org/10.1680/jmuen.18.00014>
- Nainggolan, K. (2020). *Analisa Karakteristik Perkerasan Aspal Karet Lapisan AC-WC Dengan Menggunakan Filler Yang Berbeda Terhadap Nilai Marsahll*. Universitas Medan Area.
- Prastanto, H., Firdaus, Y., Puspitasari, S., Ramadhan, A., & Falaah, A. F. (2018). *Sifat Aspal Modifikasi Karet Alam Pada Berbagai Jenis Dan Dosis Lateks Karet Alam*. Jurnal Penelitian Karet, 65–76. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v36i1.444>
- Pratiwi, R., Devi, S. M., Marini, A., & Sari, H. M. (2022). *Optimasi Waktu Penambahan Bangunan Dengan Metode Time Cost Trade Off (TCTO) Pada Proyek Penambahan Bangunan Pasar Rakyat*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil TRANSUKMA, 4(2), 93–105.
- Ramadhan, D. M., Indriani, A., & Utomo, G. (2023). *Analisis Karakteristik Penggunaan Aspal Polimer PG 76 Terhadap Durabilitas Marshall Lapisan Asphalt Concrete - Wearing Course*. KoNTekS Ke-17 Balikpapan, 1.
- Setyoko, A. T., & Lukiawan, R. (2019). *Pengembangan Standardisasi Karet Alam Sebagai Bahan Baku Aspal Karet dan Produk Aspal Karet*. Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi, 2019, 13–22. <https://doi.org/10.31153/ppis.2019.2>
- Sitohang, O., Laia, A., Manurung, E. H., & Puro, S. (2023). *Model Value Of Residual Strength Of Concrete Asphalt Pavement Consequences Of Soaking Of Rainwater And Seawater By Continuous And Periodic Method*. Indonesia Journal Of Construction Engineering And Sustainable Development (CESD), 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.25105/cesd.v6i1.17152>
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas (Edisi Ketiga, Cetakan Keempat)*. Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Sunarjono, S., Anto, B. H., Hidayati, N., & Harnaeni, S. R. (2021). *Durability of Asphalt Mixture AC-WC Using Latex Based on the Test Method of SNI 6753:2015*. Urecol Journal. Part E: Engineering, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.53017/uje.105>
- Sunarjono, S., Hidayati, N., Magfirona, A., & Prakoso, A. D. (2021). *Investigation of the immersion resistance of the HRS-WC mixtures with applying static loading*. Journal of Physics: Conference Series, 1858(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012023>
- Sunarjono, S., Hidayati, N., & Pratama, A. I. (2020). *Ketahanan Campuran AC-WC Menggunakan Lateks Terhadap Air*. Jurnal Transportasi, 20(2), Article 2. <https://doi.org/10.26593/jtrans.v20i2.4105.125-136>

Susanto, H. A., Susanto, H. A., & Mulyono, B. (2022). *Laboratory Testing Performance of Hot Mix Asphalt Containing Waste Materials*. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 24(1), 27–35. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v24i1.34426>

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). *SE Menteri PUPR Nomor 04/SE/M/2019 Perancangan dan Pelaksanaan Campuran Beraspal Panas dengan Aspal yang mengandung Karet Alam*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.

SKh-1.6. 25, *Spesifikasi Khusus Interim Laston Dengan Aspal Yang Mengandung Karet Alam*, 2018, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.