

Analisis Nilai Durabilitas Laston HRS-WC dan Laston AC-WC menggunakan Material Agregat Bulat pada Pemadatan Sedang

Analysis of Durability Values of HRS-WC and AC-WC Asphalt using Rounded Aggregate Material with Medium Compaction

Krisantos Ria Bela

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandira Kupang, Jl. San Juan No.1, Penfui, Kec. Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur. Telp: (0380) 833395. Email : krisantosbela@unwira.ac.id

Abstrak

Durabilitas campuran aspal merupakan faktor penting dalam menentukan kualitas infrastruktur jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai durabilitas dari campuran beraspal panas, baik *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) maupun *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), menggunakan agregat bulat pada pemadatan sedang. Metode uji laboratorium dilakukan untuk menguji durabilitas dengan fokus pada parameter Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Keawetan Pertama (IDP), dan Indeks Keawetan Kedua (IDK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan agregat bulat mengakibatkan penurunan nilai IKS pada kedua campuran, hanya nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) 1 hari dengan variasi pencampuran batu bulat 0% dan 10% yang memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Selain itu, campuran AC-WC menunjukkan variasi signifikan dalam IDP pada waktu perendaman 48 jam dengan penambahan batu bulat hingga 30%, nilai IDP yang dihasilkan melebihi 1%, menandakan bahwa campuran AC-WC pada kondisi tersebut tidak dapat dianggap *durable*. IDK menunjukkan kecenderungan penurunan nilai seiring bertambahnya waktu perendaman, menandakan peningkatan kehilangan kekuatan. Kesimpulannya, penggunaan agregat bulat dalam campuran beraspal panas mempengaruhi durabilitasnya, menekankan pentingnya pertimbangan matang dalam penggunaan material untuk meningkatkan kualitas infrastruktur jalan.

Kata Kunci: Durabilitas; HRS-WC; AC-WC; Agregat bulat; Pemadatan sedang

Abstract

Durability of asphalt mixtures is a crucial factor in determining the quality of road infrastructure. This research aims to analyze the durability value of hot asphalt mixtures, both Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) and Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC), using rounded aggregates with moderate compaction. Laboratory testing methods were conducted to examine durability, focusing on parameters such as Residual Strength Index (IKS), First Durability Index (IDP), and Second Durability Index (IDK). The research findings indicate that the addition of rounded aggregates resulted in a decrease in IKS values for both mixtures. Only the 1-day Residual Strength Index (IKS) with variations of 0% and 10% rounded aggregate mixing met the requirements of the 2018 Road Construction Specification Revision 2. Additionally, AC-WC mixtures exhibited significant variations in IDP at a soaking time of 48 hours with the addition of up to 30% rounded aggregate, producing IDP values exceeding 1%, indicating that AC-WC mixtures under those conditions cannot be considered durable. IDK showed a tendency of decreasing values with increasing soaking time, indicating increased strength loss. In conclusion, the use of rounded aggregates in hot asphalt mixtures affects their durability, emphasizing the importance of careful consideration in material usage to enhance road infrastructure quality.

Keywords: Durability; HRS-WC; AC-WC; Rounded aggregate; Moderate compaction

PENDAHULUAN

Cuaca tropis yang sering terjadi di Indonesia berpengaruh besar terhadap kinerja dan umur perkerasan jalan. Terutama saat musim penghujan, banjir sering terjadi dan menyebabkan genangan air di atas jalan. Lapisan paling atas pada aspal (lapis aus/*wearing course*) akan terkena dampak langsung dari genangan air banjir tersebut. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan dan lama-kelamaan dapat mengakibatkan lapisan atas aspal kehilangan ketahanannya atau durabilitas (Sutazril dan Sentosa, 2014). Durabilitas merupakan kemampuan beton aspal untuk menahan beban yang dihasilkan oleh lalu lintas, seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur (Attamimi dkk, 2021).

Struktur perkerasan jalan yang langsung terkena dampak cuaca dan kendaraan, terdiri dari dua jenis lapisan permukaan yaitu *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) atau Lapis Tipis Aspal Beton (LASTON), dan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) atau Lapis Aspal Beton (LASTON). Dalam konteks analisis nilai durabilitas antara HRS-WC dan AC-WC dengan menggunakan material agregat bulat pada pemadatan sedang, maka durabilitas menjadi parameter penting untuk dipertimbangkan dalam memilih jenis campuran beton yang akan digunakan. HRS-WC adalah campuran beton aspal yang memiliki keunggulan dalam hal ketahanan aus dan gesekan, serta tahan terhadap cuaca ekstrem dan beban berat. Sementara AC-WC adalah campuran beton aspal yang biasanya digunakan sebagai lapisan permukaan jalan dan memiliki ketahanan aus dan gesekan yang baik.

Pemilihan material yang tepat dan sesuai dengan karakteristik daerah masing-masing untuk perkerasan jalan juga sangat penting, guna menjaga kualitas perkerasan agar konsisten dan dapat bertahan sesuai dengan umur layan yang direncanakan, terutama pada perkerasan lentur yang menggunakan lapisan permukaan aspal beton. Salah satu material yang berperan penting pada perkerasan ini adalah agregat, dimana agregat merupakan butiran-butiran batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya yang dapat berasal dari alam maupun bahan buatan, dan tersedia dalam ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen mineral padat (Sukirman, 2003).

Penggunaan agregat buatan pada campuran aspal beton merupakan langkah yang tepat karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan agregat alami dalam membentuk kondisi lapisan perkerasan yang baik. Namun, pada kenyataannya, penggunaan

agregat buatan sebagai material utama pada campuran aspal beton membutuhkan sumber daya yang sangat tinggi. Hal ini dikarenakan biaya yang besar dalam proses pengolahan dan pengangkutan ke lokasi proyek. Selain itu, terkadang ditemukan agregat alam yang masih memenuhi persyaratan sebagai material agregat pada perkerasan, meskipun memiliki permukaan yang tidak rata (bulat) atau masih seperti bentuk semula (Bulgis dan Alkam, 2017).

Pemadatan adalah proses mekanis di mana partikel solid dirapatkan sehingga volume rongga dalam campuran mengecil dan kepadatan campuran meningkat. Proses ini juga membantu dalam mengatur distribusi partikel agregat dalam campuran sehingga mencapai konfigurasi agregat optimum untuk mencapai kepadatan yang diinginkan (Kurnia, 2016). Pada pemadatan sedang dengan menggunakan material agregat bulat, kualitas adhesi antara aspal dan agregat menjadi faktor penting yang mempengaruhi durabilitas. Agregat bulat cenderung memiliki luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan agregat kasar, sehingga adhesi antara aspal dan agregat menjadi lebih kuat. Hal ini dapat meningkatkan durabilitas campuran beton aspal tersebut dalam jangka waktu yang lama. Namun demikian, faktor lingkungan juga dapat mempengaruhi durabilitas campuran beton aspal, seperti kelembaban udara, temperatur, dan paparan sinar ultraviolet.

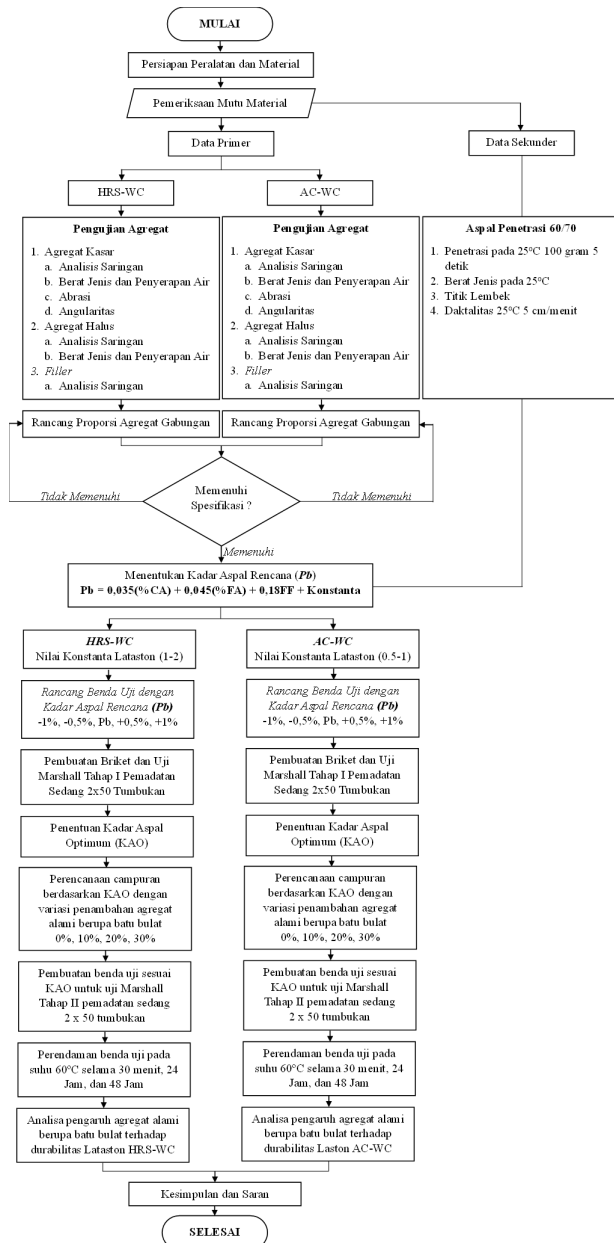
Berdasarkan pokok pemikiran yang sudah diuraikan diatas, penulis merasa perlu menganalisis nilai durabilitas yang dihasilkan oleh kedua jenis campuran beraspal panas, baik itu *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) dan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) menggunakan material agregat bulat pada proses pemadatan sedang.

METODE

Penelitian ini dilakukan melalui metode uji laboratorium dengan fokus pada analisis nilai durabilitas Laston HRS-WC dan Laston AC-WC menggunakan material agregat bulat pada pemadatan sedang. Pengujian ini penting untuk memahami bagaimana agregat bulat berperan dalam meningkatkan durabilitas campuran beton aspal, terutama dalam menghadapi dampak cuaca tropis yang sering terjadi di Indonesia. Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan meliputi agregat, bahan pengisi (*filler*), dan aspal. Agregat berupa batu pecah diambil dari *stone crusher* pada *Asphalt Mixing Plant* (AMP), sedangkan agregat bulat (*rounded aggregate*) diambil dari sungai Takari. Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah semen *Portland* dan bahan pengikat yang digunakan adalah

Aspal penetrasi 60/70. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Dan Bina Teknik Dinas Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Provinsi Nusa Tenggara Timur. Parameter yang dianalisis mencakup durabilitas campuran agregat alami berupa batu bulat dengan interval 0%, 10%, 20%, 30% dan Perendaman benda uji selama 30 menit, 24 jam, dan 48 jam pada suhu 60°C. Analisis ini bertujuan untuk memperoleh nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Keawetan Pertama (IDP), dan Indeks Keawetan Kedua (IDK). Parameter Marshall yang ditinjau meliputi nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), kepadatan (*density*), rongga udara dalam agregat atau *Voids in material aggregate* (VMA), rongga udara dalam campuran atau *Voids In Mix* (VIM), rongga terisi aspal atau *Voids Filled Bitumen* (VFA), *Marshall Quotient* (MQ), dan Rasio Partikel.

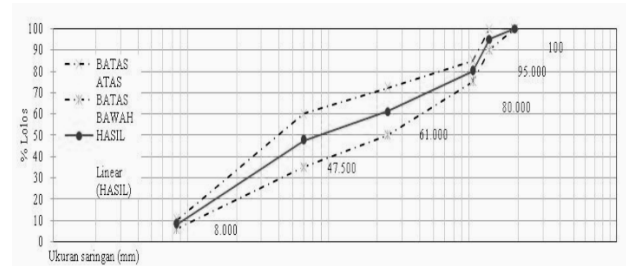
Berikut adalah diagram alir penelitian yang tersedia dalam Gambar 1.



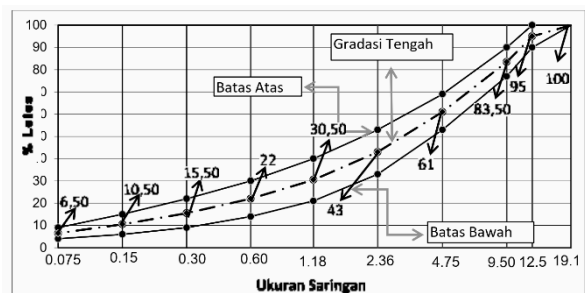
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian
HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melalui serangkaian pengujian yang meliputi analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, abrasi, serta angularitas, semua material yang digunakan untuk lapisan permukaan baik jenis *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) maupun *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) telah terbukti memenuhi Standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 untuk campuran beton aspal. Langkah berikutnya dalam proses ini adalah merancang Proporsi Agregat Gabungan. Tujuannya adalah untuk menentukan persentase masing-masing fraksi agregat sehingga nilai kadar aspal rencana (*Pb*), atau yang dikenal sebagai kadar aspal tengah, dapat ditetapkan.

Untuk merancang proporsi agregat gabungan, pertama-tama kita harus memperhitungkan komposisi agregat kasar dan halus, serta bahan pengisi (*filler*) yang digunakan. Agregat kasar terdiri dari batu pecah $\frac{3}{4}$ inch, batu pecah $\frac{1}{2}$ inch, sementara agregat halus terdiri dari abu batu dan pasir. Sebagai bahan pengisi, digunakan semen kupang. Hasil pengujian gradasi agregat gabungan digambarkan ke dalam *line* gradasi atau kurva hubungan antara presentase lolos dan ukuran saringan yang berada di tengah antara batas atas dan batas bawah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 untuk kurva gradasi agregat gabungan laston HRS-WC dan Gambar 3 untuk kurva gradasi agregat gabungan laston AC-WC.



Gambar 2. Gradasi Agregat Gabungan HRS-WC



Gambar 3. Gradasi Agregat Gabungan AC-WC

Setelah menetapkan komposisi gradasi agregat gabungan, langkah selanjutnya adalah merencanakan kadar aspal perkiraan (*Pb*).

Berdasarkan perhitungan didapatkan variasi kadar aspal untuk laston HRS-WC adalah 6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5%, 8.0%, sedangkan untuk laston AC-WC adalah 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7.0%. Untuk jumlah benda uji dibutuhkan 2 buah sampel pada setiap variasi kadar aspal yang akan diuji Marshall.

Dari hasil pengujian Marshall Tahap 1 menggunakan pemadatan sedang 2 x 50 tumbukan, diperoleh karakteristik Marshall yaitu stabilitas, flow, kepadatan, VMA, VIM, VFA, *Marshall Quetient* (MQ), dan Rasio Partikel. Berikut ini adalah hasil Marshall test untuk laston HRS-WC dan laston AC-WC.

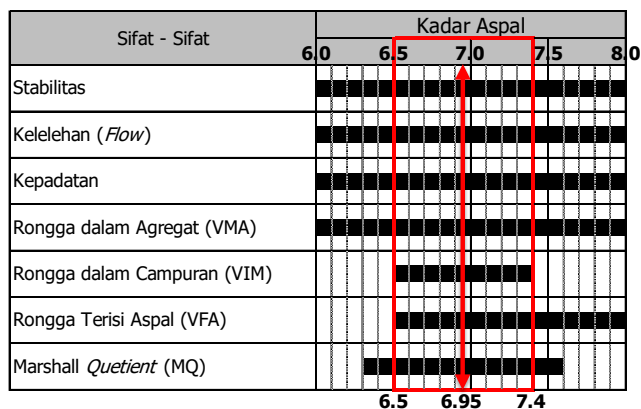
Tabel 1. Hasil Pengujian Marshall Tahap 1 Laston HRS-WC

Parameter Marshall	Kadar Aspal				
	6.0%	6.5%	7.0%	7.5%	8.0%
Stabilitas	742.75	846.29	1035.35	859.79	756.26
Flow	3.40	3.33	3.43	3.55	3.75
Kepadatan	2.23	2.25	2.26	2.26	2.27
VMA	19.30	19.05	18.93	19.31	19.42
VIM	7.50	6.06	4.74	4.01	2.94
VFA	61.14	68.20	74.97	79.26	84.86
MQ	218.82	255.80	302.21	242.33	201.74

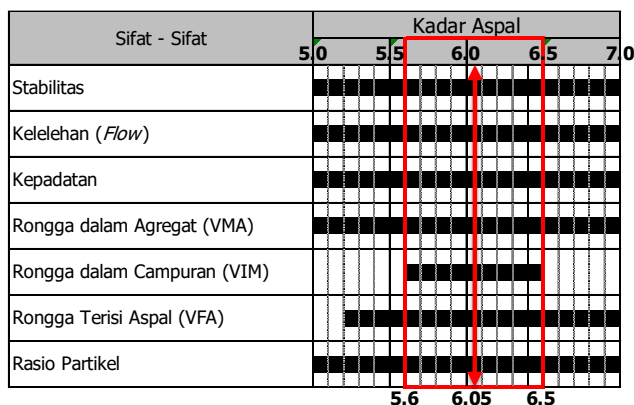
Tabel 2. Hasil Pengujian Marshall Tahap 1 Laston AC-WC

Parameter Marshall	Kadar Aspal				
	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Stabilitas	873.30	940.82	1012.85	956.58	877.99
Flow	2.88	3.05	3.25	3.50	3.67
Kepadatan	2.25	2.27	2.28	2.28	2.28
VMA	17.30	17.08	17.12	17.36	17.77
VIM	6.63	5.22	4.10	3.20	2.50
VFA	61.66	69.44	76.03	81.55	85.96
Rasio Partikel	1.33	1.21	1.10	1.02	0.94

Kadar aspal optimum (KAO) dapat ditentukan dengan membuat diagram batang berdasarkan nilai hasil pengujian parameter Marshall yang memenuhi persyaratan dan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Berikut merupakan diagram batang penentuan kadar aspal optimum.



Gambar 4. Diagram Batang Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Laston HRS-WC



Gambar 5. Diagram Batang Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Laston AC-WC

Pada Gambar 4 terlihat bahwa kadar aspal yang memenuhi sifat campuran adalah pada rentang kadar aspal 6.50% hingga 7.40%, dengan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh untuk campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) adalah 5.90 %. Sedangkan Pada Gambar 5 terlihat bahwa kadar aspal yang memenuhi sifat campuran adalah pada rentang kadar aspal 5.60% hingga 6.50%, dengan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh untuk campuran beraspal panas *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) adalah 6.05 %.

Setelah menentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), selanjutnya adalah membuat kembali benda uji dengan variasi penambahan agregat alami berupa batu bulat sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% berdasarkan nilai KAO tersebut. Diperlukan 3 buah sampel untuk setiap variasi dengan jumlah tumbukan sebanyak 2 x 50 untuk pemadatan sedang dan waktu perendaman 30 menit, 24 jam dan 48 jam.

Langkah berikutnya adalah melakukan pengujian Marshall Tahap 2 untuk memperoleh nilai stabilitas, *flow*, kepadatan, VMA, VIM, VFA, *Marshall Quetient* (MQ), dan Rasio Partikel berdasarkan hasil variasi agregat alami berupa batu bulat dan waktu perendaman. Berikut ini adalah hasil Marshall test untuk laston HRS-WC dan laston AC-WC.

Tabel 3. Hasil Pengujian Marshall Tahap 2 Laston HRS-WC dengan Variasi Batu Bulat 0%

Parameter Marshall	Durasi Rendaman (Jam)		
	0.5	24	48
Stabilitas	1044.36	978.33	912.31
Flow	3.14	3.47	3.50
Kepadatan	2.26	2.25	2.25
VMA	19.13	19.26	19.37
VIM	5.02	5.18	5.30
VFA	73.77	73.14	72.63
MQ	302.95	284.91	260.56

Tabel 4. Hasil Pengujian Marshall Tahap 2 Laston AC-WC dengan Variasi Batu Bulat 0%

Parameter Marshall	Durasi Rendaman (Jam)		
	0.5	24	48
	Stabilitas	1034.73	959.70
Flow	3.02	3.08	3.45
Kepadatan	2.28	2.28	2.27
VMA	17.00	17.10	17.49
VIM	3.73	3.84	4.30
VFA	78.06	77.53	75.43
Rasio Partikel	1.09	1.09	1.09

Tabel 5. Hasil Pengujian Marshall Tahap 2 Laston HRS-WC dengan Variasi Batu Bulat 10%

Parameter Marshall	Durasi Rendaman (Jam)		
	0.5	24	48
	Stabilitas	915.31	834.28
Flow	3.87	3.90	4.01
Kepadatan	2.26	2.25	2.25
VMA	19.13	19.32	19.45
VIM	5.03	5.25	5.40
VFA	73.73	72.85	72.25
MQ	236.65	214.33	193.90

Tabel 6. Hasil Pengujian Marshall Tahap 2 Laston AC-WC dengan Variasi Batu Bulat 10%

Parameter Marshall	Durasi Rendaman (Jam)		
	0.5	24	48
	Stabilitas	912.56	836.54
Flow	2.96	3.47	4.04
Kepadatan	2.28	2.27	2.27
VMA	17.25	17.36	17.35
VIM	4.02	4.14	4.13
VFA	76.72	76.15	76.19
Rasio Partikel	1.09	1.09	1.09

Tabel 7. Hasil Pengujian Marshall Tahap 2 Laston HRS-WC dengan Variasi Batu Bulat 20%

Parameter Marshall	Durasi Rendaman (Jam)		
	0.5	24	48
	Stabilitas	855.29	768.26
Flow	4.34	4.39	4.43
Kepadatan	2.26	2.25	2.25
VMA	19.20	19.37	19.47
VIM	5.11	5.30	5.42
VFA	73.39	72.64	72.17
MQ	205.45	176.28	159.22

Tabel 8. Hasil Pengujian Marshall Tahap 2 Laston AC-WC dengan Variasi Batu Bulat 20%

Parameter Marshall	Durasi Rendaman (Jam)		
	0.5	24	48
	Stabilitas	727.75	654.22
Flow	2.86	4.80	5.36
Kepadatan	2.25	2.25	2.23
VMA	18.17	18.24	18.79
VIM	5.09	5.17	5.81
VFA	72.01	71.67	69.10

Rasio Partikel	1.09	1.09	1.09
----------------	------	------	------

Tabel 9. Hasil Pengujian Marshall Tahap 2 Laston HRS-WC dengan Variasi Batu Bulat 30%

Parameter Marshall	Durasi Rendaman (Jam)		
	0.5	24	48
	Stabilitas	825.28	726.25
Flow	4.62	4.73	4.81
Kepadatan	2.25	2.25	2.25
VMA	19.28	19.43	19.51
VIM	5.20	5.38	5.47
VFA	73.02	72.32	72.00
MQ	179.91	154.22	138.58

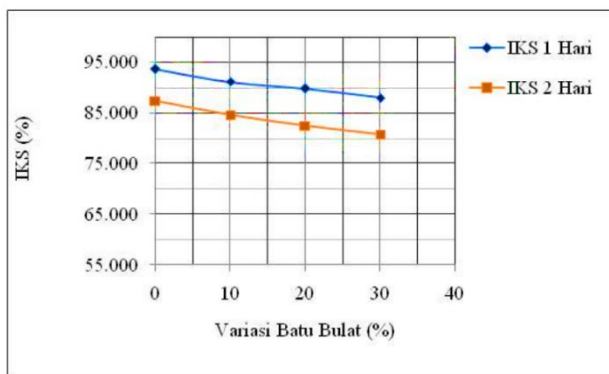
Tabel 10. Hasil Pengujian Marshall Tahap 2 Laston AC-WC dengan Variasi Batu Bulat 30%

Parameter Marshall	Durasi Rendaman (Jam)		
	0.5	24	48
	Stabilitas	630.22	555.19
Flow	2.81	4.53	5.49
Kepadatan	2.24	2.24	2.22
VMA	18.43	18.59	19.19
VIM	5.39	5.57	6.27
VFA	70.76	70.06	67.36
Rasio Partikel	1.09	1.09	1.09

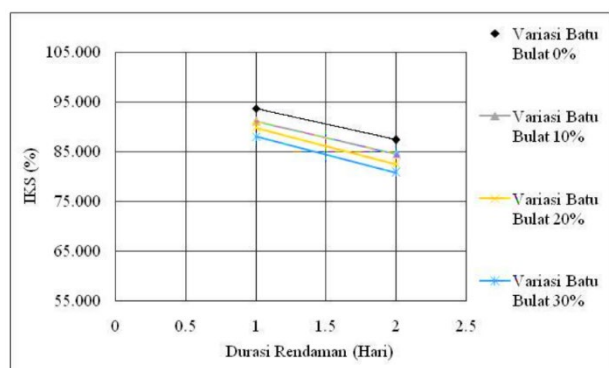
Setelah melakukan serangkaian pengujian Marshall seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 10 untuk penambahan agregat alami berupa batu bulat 0%, 10%, 20%, dan 30% dengan jumlah tumbukan sebanyak 2 x 50 untuk pemadatan sedang dan waktu perendaman 30 menit, 24 jam dan 48 jam, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis terhadap durabilitas laston HRS-WC dan laston AC-WC. Parameter yang akan dianalisis meliputi Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Keawetan Pertama (IDP), dan Indeks Keawetan Kedua (IDK).

Tabel 11. Nilai IKS Laston HRS-WC

Durasi Rendaman (Jam)	Variasi Batu Bulat			
	0%	10%	20%	30%
Stabilitas Awal (0.5 Jam)	1044.36	915.31	855.29	825.28
Stabilitas 1 Hari (24 Jam)	978.33	834.28	768.26	726.25
Indeks Kekuatan Sisa (IKS) 1 Hari (%)	93.68	91.15	89.83	88.00
Stabilitas Awal (0.5 Jam)	1044.36	915.31	855.29	825.28
Stabilitas 2 Hari (48 Jam)	912.31	774.26	705.24	666.23
Indeks Kekuatan Sisa (IKS) 2 Hari (%)	87.36	84.59	82.46	82.73



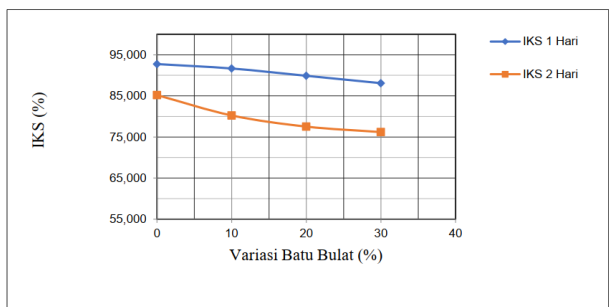
Gambar 6. Hubungan IKS Terhadap Variasi Batu Bulat (Lataston HRS-WC)



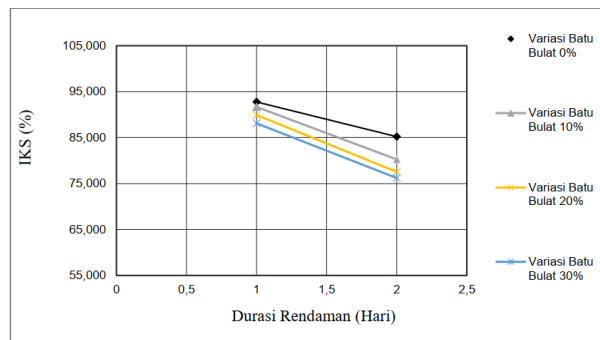
Gambar 7. Hubungan IKS Terhadap Durasi Rendaman (Lataston HRS-WC)

Tabel 12. Nilai IKS Laston AC-WC

Durasi Rendaman (Jam)	Variasi Batu Bulat			
	0%	10%	20%	30%
Stabilitas Awal (0.5 Jam)	1034.73	912.56	727.75	630.22
Stabilitas 1 Hari (24 Jam)	959.7	836.54	654.22	555.19
Indeks Kekuatan Sisa (IKS) 1 Hari (%)	92.75	91.67	89.90	88.10
Stabilitas Awal (0.5 Jam)	1034.73	912.56	727.75	630.22
Stabilitas 2 Hari (48 Jam)	881.55	732.25	564.19	480.16
Indeks Kekuatan Sisa (IKS) 2 Hari (%)	85.20	80.24	77.53	76.19



Gambar 8. Hubungan IKS Terhadap Variasi Batu Bulat (Laston AC-WC)

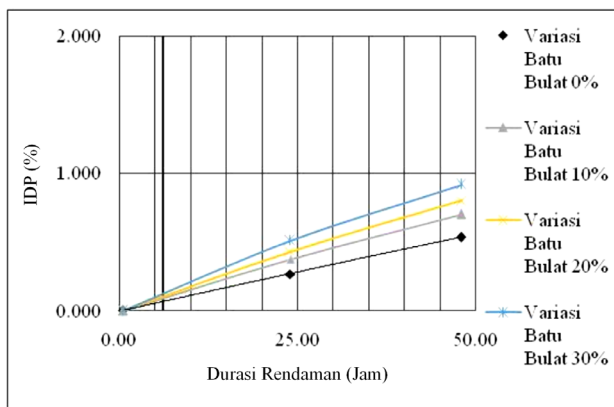


Gambar 9. Hubungan IKS Terhadap Durasi Rendaman (Laston AC-WC)

Berdasarkan data pada Tabel 11 dan 12 atau pada Gambar 6, 7, 8 dan 9, terlihat bahwa nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) untuk campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) dan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), mengalami penurunan seiring dengan peningkatan variasi pencampuran agregat alami (batu bulat), dari 0%, 10%, 20%, hingga 30%. Hasil pengujian perendaman selama 1 hari (24 Jam) dan 2 hari (48 Jam) menunjukkan bahwa hanya nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) 1 hari dengan variasi pencampuran batu bulat 0% dan 10% yang memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2, yakni memiliki nilai IKS minimum 90%.

Tabel 13. Nilai IDP Lataston HRS-WC

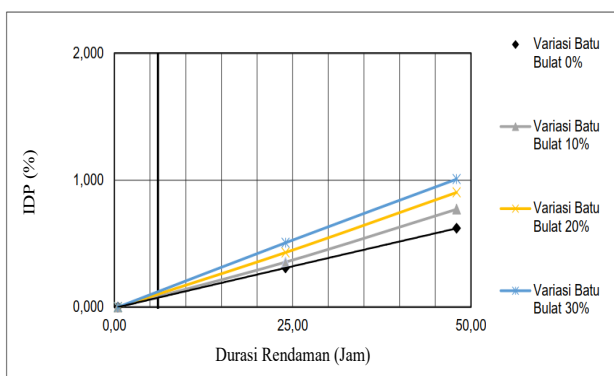
Variasi Batu Bulat 0%			
Durasi Rendaman	0.5	24	48
Stabilitas	1044.36	978.33	912.31
IKS	100	93.68	87.36
Si-Si+1	0	6.32	12.64
ti+1-ti	0	23.50	47.50
r = (Si-Si+1) / (ti+1-ti)	0	0.27	0.54
Variasi Batu Bulat 10%			
Durasi Rendaman	0.5	24	48
Stabilitas	915.31	834.28	774.26
IKS	100	91.15	84.59
Si-Si+1	0	8.85	15.41
ti+1-ti	0	23.50	47.40
r = (Si-Si+1) / (ti+1-ti)	0	0.38	0.70
Variasi Batu Bulat 20%			
Durasi Rendaman	0.5	24	48
Stabilitas	855.29	768.26	705.24
IKS	100	89.82	82.46
Si-Si+1	0	10.18	17.54
ti+1-ti	0	23.50	47.50
r = (Si-Si+1) / (ti+1-ti)	0	0.43	0.80
Variasi Batu Bulat 30%			
Durasi Rendaman	0.5	24	48
Stabilitas	825.28	726.25	666.23
IKS	100	88.00	80.73
Si-Si+1	0	12.00	19.27
ti+1-ti	0	23.50	47.50
r = (Si-Si+1) / (ti+1-ti)	0	0.51	0.92



Gambar 10. Hubungan IDP Terhadap Durasi Rendaman (Laston HRS-WC)

Tabel 14. Nilai IDP Laston AC-WC

Variasi Batu Bulat 0%			
Durasi Rendaman	0.5	24	48
Stabilitas	1034.73	959.70	881.55
IKS	100	92.75	85.20
Si-Si+1	0	7.25	14.80
ti+1-ti	0	23.50	47.50
r = (Si-Si+1) / (ti+1-ti)	0	0.31	0.62
Variasi Batu Bulat 10%			
Durasi Rendaman	0.5	24	48
Stabilitas	912.56	836.54	732.25
IKS	100	91.67	80.24
Si-Si+1	0	8.33	19.76
ti+1-ti	0	23.50	47.50
r = (Si-Si+1) / (ti+1-ti)	0	0.36	0.77
Variasi Batu Bulat 20%			
Durasi Rendaman	0.5	24	48
Stabilitas	727.75	654.22	564.19
IKS	100	89.90	77.53
Si-Si+1	0	10.10	22.47
ti+1-ti	0	23.50	47.50
r = (Si-Si+1) / (ti+1-ti)	0	0.43	0.90
Variasi Batu Bulat 30%			
Durasi Rendaman	0.5	24	48
Stabilitas	630.22	555.19	480.16
IKS	100	88.10	76.19
Si-Si+1	0	11.90	23.81
ti+1-ti	0	23.50	47.50
r = (Si-Si+1) / (ti+1-ti)	0	0.51	1.01



Gambar 11. Hubungan IDP Terhadap Durasi Rendaman (Laston AC-WC)

Dari analisis terhadap data yang tersaji dalam Tabel 13 dan 14, terlihat bahwa nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) untuk campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) menunjukkan bahwa campuran tersebut masih mempertahankan durabilitasnya terhadap perendaman. Hal ini terlihat dari nilai sensitivitas campuran terhadap perendaman yang relatif rendah, dengan nilai (r) yang didapatkan $\leq 1\%$. Berbeda dengan itu, pada campuran beraspal panas *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), terlihat variasi hasil yang lebih signifikan tergantung pada waktu perendaman dan penambahan agregat alami berupa batu bulat. Meskipun untuk waktu perendaman 30 menit, 24 jam, dan 48 jam dengan penambahan batu bulat hingga 20%, nilai sensitivitas campuran terhadap perendaman tetap dalam kisaran yang masih *durable* ($\leq 1\%$). Namun, pada waktu perendaman 48 jam dengan penambahan batu bulat hingga 30%, nilai IDP yang dihasilkan melebihi 1%, menandakan bahwa campuran AC-WC pada kondisi tersebut tidak dapat dianggap *durable*.

Tabel 15. Nilai IDK Laston HRS-WC

Variasi Batu Bulat 0%				Total
Durasi Rendaman	0.5	24	48	-
Stabilitas	1044.36	978.33	912.31	-
IKS	100	93.68	87.36	-
Si-Si+1	0	6.32	12.64	-
ti+ti+1	0	24.50	48.50	-
2tn - (ti+ti+1)	0	23.50	47.50	-
a=[1/(2.tn)]*				
(Si-Si+1) * {2tn -	0	3.10	6.26	9.35
(ti+ti+1)}				
Sa=100 - a	0	96.91	93.74	-
A = (a/100)*S0	0	28.33	57.26	-
SA = S0 - A	0	886.98	858.05	-
Variasi Batu Bulat 10%				Total
Durasi Rendaman	0.5	24	48	-
Stabilitas	915.31	834.28	774.26	-
IKS	100	91.15	84.59	-
Si-Si+1	0	8.85	15.41	-
ti+ti+1	0	24.50	48.50	-
2tn - (ti+ti+1)	0	23.50	47.50	-
a=[1/(2.tn)]*				
(Si-Si+1) * {2tn -	0	4.33	7.63	11.96
(ti+ti+1)}				
Sa=100 - a	0	95.67	92.38	-
A = (a/100)*S0	0	39.67	69.79	-
SA = S0 - A	0	875.64	845.52	-
Variasi Batu Bulat 20%				Total
Durasi Rendaman	0.5	24	48	-
Stabilitas	855.29	768.26	705.24	-
IKS	100	89.82	82.46	-
Si-Si+1	0	10.18	17.54	-
ti+ti+1	0	24.50	48.50	-
2tn - (ti+ti+1)	0	23.50	47.50	-
a=[1/(2.tn)]*				
(Si-Si+1) * {2tn -	0	4.98	8.68	13.66
(ti+ti+1)}				
Sa=100 - a	0	95.02	91.32	-
A = (a/100)*S0	0	45.60	79.45	-

SA = S0 - A	0	869.71	835.86	-
Variasi Batu Bulat 30%				Total
Durasi Rendaman	0.5	24	48	-
Stabilitas	825.28	726.25	666.23	-
IKS	100	88.00	80.73	-
Si-Si+1	0	12.00	19.27	-
ti+ti+1	0	24.50	48.50	-
2tn - (ti+ti+1)	0	23.50	47.50	-
$a=[1/(2.tn)]^*$ (Si-Si+1) * {2tn - (ti+ti+1)}	0	5.88	9.54	15.41
Sa=100 - a	0	94.13	90.46	-
A = (a/100)*S0	0	53.78	87.28	-
SA = S0 - A	0	861.54	828.03	-

Tabel 16. Nilai IDK Laston AC-WC

Variasi Batu Bulat 0%				Total
Durasi Rendaman	0.5	24	48	-
Stabilitas	1034.73	959.70	881.55	-
IKS	100	92.75	85.20	-
Si-Si+1	0	7.25	14.80	-
ti+ti+1	0	24.50	48.50	-
2tn - (ti+ti+1)	0	23.50	47.50	-
$a=[1/(2.tn)]^*$ (Si-Si+1) * {2tn - (ti+ti+1)}	0	3.55	7.33	10.88
Sa=100 - a	0	96.45	92.68	-
A = (a/100)*S0	0	32.40	66.84	-
SA = S0 - A	0	880.17	845.72	-
Variasi Batu Bulat 10%				Total
Durasi Rendaman	0.5	24	48	-
Stabilitas	912.56	836.54	732.25	-
IKS	100	91.67	80.24	-
Si-Si+1	0	8.33	19.76	-
ti+ti+1	0	24.50	48.50	-
2tn - (ti+ti+1)	0	23.50	47.50	-
$a=[1/(2.tn)]^*$ (Si-Si+1) * {2tn - (ti+ti+1)}	0	4.08	9.78	13.86
Sa=100 - a	0	95.92	90.22	-
A = (a/100)*S0	0	37.22	89.22	-
SA = S0 - A	0	875.34	823.34	-
Variasi Batu Bulat 20%				Total
Durasi Rendaman	0.5	24	48	-
Stabilitas	727.75	654.22	564.19	-
IKS	100	89.90	77.53	-
Si-Si+1	0	10.10	22.47	-
ti+ti+1	0	24.50	48.50	-
2tn - (ti+ti+1)	0	23.50	47.50	-
$a=[1/(2.tn)]^*$ (Si-Si+1) * {2tn - (ti+ti+1)}	0	4.95	11.12	16.07
Sa=100 - a	0	95.05	88.88	-
A = (a/100)*S0	0	45.14	101.48	-
SA = S0 - A	0	867.42	811.08	-
Variasi Batu Bulat 30%				Total
Durasi Rendaman	0.5	24	48	-
Stabilitas	630.22	555.19	480.16	-
IKS	100	88.10	76.19	-
Si-Si+1	0	11.90	23.81	-
ti+ti+1	0	24.50	48.50	-
2tn - (ti+ti+1)	0	23.50	47.50	-
$a=[1/(2.tn)]^*$ (Si-Si+1) * {2tn - (ti+ti+1)}	0	5.83	11.78	17.61
Sa=100 - a	0	94.17	88.22	-

A = (a/100)*S0	0	53.19	107.51	-
SA = S0 - A	0	859.37	805.05	-

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam Tabel 15 dan 16, dapat diamati bahwa nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) untuk campuran beraspal panas *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) dan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) menunjukkan kecenderungan yang menurun seiring dengan bertambahnya waktu perendaman dari 30 menit hingga 24 jam. Nilai "a" yang positif pada IDK mengindikasikan adanya kehilangan kekuatan, sementara nilai "a" yang negatif menandakan pertambahan kekuatan. Semakin kecil nilai IDK, semakin kecil pula kehilangan kekuatan. Hal ini menunjukkan bahwa campuran mengalami peningkatan kekuatan atau penurunan kehilangan kekuatan seiring berjalannya waktu perendaman. Secara konsisten, semakin lama proses perendaman dilakukan, semakin rapuh atau mudah hancur benda uji tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijabarkan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan agregat bulat dalam campuran beraspal panas, baik itu *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) maupun *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), memberikan pengaruh terhadap nilai durabilitas campuran tersebut. Penambahan agregat bulat menyebabkan penurunan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada kedua jenis campuran, dimana hanya campuran dengan variasi pencampuran batu bulat 0% dan 10% yang memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 dengan memiliki nilai IKS minimum 90%. Indeks Durabilitas Pertama (IDP) menunjukkan bahwa campuran HRS-WC cenderung lebih stabil terhadap perendaman dibandingkan dengan campuran AC-WC. Meskipun demikian, penambahan agregat bulat dalam campuran AC-WC dapat menghasilkan variasi yang signifikan tergantung pada waktu perendaman, dimana penambahan batu bulat hingga 30% pada waktu perendaman 48 jam menghasilkan nilai IDP yang melebihi 1%, menunjukkan ketidakdurable-an campuran. Indeks Durabilitas Kedua (IDK) menunjukkan kecenderungan penurunan nilai seiring dengan bertambahnya waktu perendaman, menandakan bahwa campuran mengalami peningkatan kehilangan kekuatan atau penurunan kekuatan seiring berjalannya waktu perendaman. Dengan demikian, penelitian ini memberikan gambaran bahwa penggunaan agregat bulat dalam campuran beraspal panas perlu dipertimbangkan secara cermat, karena dapat mempengaruhi

durabilitas campuran tersebut. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti pentingnya pemahaman terhadap karakteristik campuran beraspal panas dalam konteks keawetan dan kekuatan untuk meningkatkan kualitas infrastruktur jalan.

REFERENSI

- Attamimi, M. F., Achmad, F., & Desei, F. L., 2021. "Kajian Durabilitas Dan Penuaan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Asbuton Pracampur Terhadap Variasi Lama Rendaman". *Composite Jurnal*, Vol. 1, No. 1, January, 32–40.
- Badan Standart Nasional, 1990. "SNI 03-1964-1990 Metode Pengujian Tentang Berat Jenis Tanah", Jakarta.
- Badan Standart Nasional, 1990. "SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar", Jakarta.
- Badan Standart Nasional, 1990. "SNI 03-1969-1990 Metode Pengujian Tentang Berat Jenis dan Penyerapan Air", Jakarta.
- Badan Standart Nasional, 1990. "SNI 03-1970-1990 Metode Pengujian Tentang Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus", Jakarta.
- Badan Standart Nasional, 1991. "SNI 03-2417-1991 Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles", Jakarta.
- Badan Standart Nasional, 1996. "SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Tentang Jumlah Ba-han dalam Agregat yang Lolos Saringan No-mor 200 (0,0075 mm)", Jakarta.
- Bulgis dan Alkam, R. B., 2017. "Pemanfaatan Agregat Alami Dan Agregat Batu Pecah Sebagai Material Perkerasan Pada Campuran Aspal Beton". *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, Vol. 19, No. 1, Maret, 23–32.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018. "Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan Revisi 2", Jakarta.
- Kurnia, R., 2016. "Perbandingan Kepadatan Marshall Dan Kepadatan Mutlak (PRD) Pada Campuran Beraspal". *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, Vol. 18, No. 2, September, 97–104.
- Sukirman, S., 2003. "Beton Aspal Campuran Panas", Granit. Jakarta.
- Sutazril M. dan Sentosa L., 2014. "Durabilitas AC-WC Spesifikasi Bina Marga 2010 Menggunakan Pasir Alam Kampar Dengan Uji Rendaman Modifikasi Marshall". *Jom FTEKNIK*, Volume 1, No. 2, Oktober, 1-11.