JIMATS JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL
e-ISSN 2961-8479

JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL (JIMATS)
Vol. 04, No. 01, Hal. 044 – 051, Januari, 2025

Pengaruh Penggunaan Serbuk Bata Merah Sebagai *Filler* Terhadap Karakteristik Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (*AC-WC*)

The Effect Of Using Red Brick Powder As Filler On The Characteristics Of Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Mixture

Prita Haurissa[1], Dwi Guntoro S[2], Iqbal[3*], Faried Desembardi[4], Asrul Saputra[5]

[(1,2,3,4,5)]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sorong

Abstrak

Asphalt Concrete-Wearing Course (*AC-WC*) merupakan salah satu jenis campuran aspal yang sering digunakan untuk lapis permukaan jalan. Penggunaan *filler* dalam campuran *AC-WC* berperan penting dalam menentukan karakteristik kekuatan, kestabilan, dan durabilitas campuran. Dalam hal ini, serbuk batu bata merah, yang merupakan limbah dari pembongkaran bangunan atau produksi batu bata, menawarkan potensi yang menarik untuk dijadikan sebagai *filler* alternatif dalam campuran *AC-WC*. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dan pengaruh penggunaan *filler* serbuk bata merah terhadap karakteristik *marshall* dan nilai *Index Retained Strenght* (IRS). Penelitian yang dilakukan bersifat uji eksperimental dengan penelitian di laboratorium yang mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 tentang "Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas". Nilai KAO pada campuran *AC-WC* didapatkan sebesar 6,5% sedangkan untuk campuran menggunakan *filler* serbuk bata merah didapatkan sebesar 6,75%, pada penggunaan *filler* serbuk bata merah dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran.

Kata Kunci: Bata Merah, KAO, *AC-WC*, *Marshall*, *IRS*.

Abstract

Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) is one type of asphalt mixture that is often used for road surface layers. The use of fillers in AC-WC mixtures plays an important role in determining the strength, stability, and durability characteristics of the mixture. In this case, red brick powder, which is a waste from building demolition or brick production, offers an interesting potential to be used as an alternative filler in AC-WC mixtures. The purpose of this study was to determine the Optimum Bitument Content (OBC) value and the effect of using red brick powder filler on the marshall characteristics and the Index Retained Strength (IRS) value. The research conducted was an experimental test with laboratory research referring to the 2018 Bina Marga Specification on "Guidelines for the Implementation of Hot Asphalt Mix Layer". The KAO value for the AC-WC mixture was found to be 6.5% while for the mixture using red brick powder filler was found to be 6.75%, the use of red brick powder filler can increase the stability value of the mixture.

Keywords: *Red Bricks, KAO, AC-WC, Marshall, IRS*.

PENDAHULUAN

Di Indonesia, pembangunan infrastruktur jalan menjadi salah satu prioritas untuk mendukung perkembangan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Menurut (Yudaningrum & Ikhwanudin, 2017) kerusakan jalan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya air, perubahan suhu, cuaca, material konstruksi perkerasan, kondisi tanah dasar yang tidak stabil, dan tonase atau muatan kendaraan-kendaraan berat yang melebihi kapasitas serta volume kendaraan yang semakin meningkat. Namun, dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan material yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, alternatif material *filler* yang ekonomis dan mudah didapatkan menjadi penting. Dalam hal ini, serbuk batu bata merah, yang merupakan limbah dari pembongkaran bangunan atau produksi batu bata, menawarkan potensi yang menarik untuk dijadikan sebagai *filler* alternatif dalam campuran *AC-WC*. Pembangunan infrastruktur dan bangunan baru di Kota Sorong yang sangat pesat seringkali menghasilkan limbah bahan bangunan, salah satunya adalah bata merah. Bata merah telah lama digunakan dalam konstruksi di Indonesia karena ketahanan dan ketersediaannya. Namun, proses pembongkaran bangunan lama dan sisa-sisa bahan bangunan dari proyek konstruksi baru menghasilkan limbah bata merah yang potensial untuk dimanfaatkan kembali atau didaur ulang terutama dalam industri konstruksi sebagai *filler* atau bahan tambahan.

(*) Corresponding author
Telp: +62 852-4413-9896
E-mail: iiqbale.12@gmail.com
http://doi.org/10.33506/jimats.v4i01.4284
Received xx Bulan ; Accepted xx Bulan Tahun; Available online 31 Januari 2025
E-ISSN: 2961-847

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Wibowo dkk, 2022) tentang pemanfaatan serbuk bata merah untuk campuran aspal beton *AC-WC* terhadap karakteristik *marshall*, kadar *filler* optimum dalam campuran serbuk bata merah pada aspal beton *AC-WC* dapat meningkatkan karakteristik *marshall* dan kadar *filler* optimum adalah sebesar 5,4%. Penelitian yang dilakukan oleh (Misbah dkk, 2023) tentang pemanfaatan abu bata merah sebagai pengganti *filler* pada campuran aspal beton (laston) mempengaruhi karakteristik *marshall*, penambahan *filler* limbah batu bata merah sebesar 1% memenuhi persyaratan spesifikasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Aspal

Bitumen, yang sering disebut sebagai aspal, adalah zat hidrokarbon yang memiliki sifat perekat, berwarna hitam, kedap air, dan viskoelastik, artinya ia mampu menahan aliran geser dan meregang secara linier, elastis saat ditarik, dan kembali ke bentuk semula setelah tekanan dihilangkan. (Pertamina, 2023). Berikut ini ketentuan sifat-sifat aspal keras dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Ketentuan Sifat-Sifat Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60/70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinδ) pada osilasi 10 rad/detik > 1,0 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-
3	Viskositas 135˚ C (cSt)[3]	ASTM D 2170-10	≥ 300
4	Titik Lembek (˚C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Daktilitas pada 25˚ C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Titik nyala (˚C)	SNI 06-2433-1991	≥ 232
7	Larutan dalam *Trichloroethylene* (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
8	Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga, 2018

Agregat

Material granular, seperti agregat, adalah jenis material yang padat dan keras. Istilah agregat mencakup berbagai jenis seperti batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat memiliki peran krusial dalam konstruksi jalan karena menjadi komponen utama dalam pembuatan lapisan perkerasan. Kemampuan perkerasan jalan untuk menopang beban ditentukan sebagian besar oleh sifat-sifat dari agregat yang digunakan. Oleh karena itu, pemilihan agregat yang sesuai sangatlah penting dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan. (Kementerian PUPR, 2022).

Gradasi *Asphalt Concrete-Wearing Course* (*AC-WC*)

Campuran aspal beton adalah kombinasi aspal dengan gradasi butiran yang terus-menerus, umumnya digunakan untuk jalan dengan lalu lintas berat. Lapis aus (*AC-WC*) merupakan lapisan perkerasan yang langsung menanggung beban. Kestabilan campuran diperoleh melalui kunci *interlocking* dari agregat, sedangkan aspal berperan sebagai pengikat dan pengisi.

Bata Merah

Bata merah adalah hasil dari pemadatan tanah yang dibentuk dan kemudian dipanaskan pada suhu tinggi hingga mengering sepenuhnya, mengeras, dan berubah menjadi warna merah yang khas. Tanah yang digunakan memiliki konsistensi yang agak lengket agar dapat menyatu dengan baik selama proses pembentukan. Menurut (Zahra dkk, 2024) batu bata merah memiliki komposisi yang serupa dengan semen yang sering digunakan sebagai *filler* dalam campuran aspal beton.

Penentuan Nilai Tengah Kadar Aspal

Dalam menentukan nilai tengah kadar aspal pada campuran *AC-WC* untuk mencari nilai KAO, dapat menggunakan persamaan berikut ini.

Pb = 0,035 (%CA) + 0,045 (%FA) + 0,18 (%*filler*) + konstanta……1

Keterangan:

Pb : kadar aspal perkiraan,
CA : agregat kasar (*coarse aggregate*),
FA : agregat halus (*fine aggregate*),
Filler : agregat halus lolos saringan No. 200, dan

Konstanta : 0,5 sampai 1 untuk campuran laston.

Karakteristik *Marshall*

Konsep dasar dari metode *Marshall Test* dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian distandarisasikan di dalam *American Society for Test and Material 1989 (ASTM D-1559)*(Sarosa, 2017). Parameter *Marshall Test* adalah stabilitas (*Stability*), kelelehan (*Flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *VITM* (*Void in Total Mix*), *Density* dan *VFWA* (*Void Filled with Asphalt*) (Arrum, 2018). Berikut ini persamaan untuk parameter *marshall*.

Stabilitas

$qs = p \times q$ ……2

Keterangan :

qs : nilai stabilitas (kg)
p : pembacaan nilai arloji stabilitas × kalibrasi *proving ring*
q : angka koreksi tebal benda uji (kg)

VITM

$VITM = 100 - \left(100 \times \frac{G}{H}\right)$ ……3

Keterangan :

VITM : rongga udara setelah pemadatan (%)
G : berat volume benda uji (gr)
H : berat jenis maksimum teoritis

VFWA

$VFWA = 100 \times (\frac{i}{VMA})$ ……4

Keterangan :

VFWA : rongga udara terisi aspal (%)
VMA : rongga udara pada mineral agregat (%)
i : $\frac{b \times g}{Bj\ Aspal}$

VMA

$VMA = 100 - j$ ……5

Keterangan :

VMA : rongga udara pada mineral agregat (%)
J : $(\frac{(100-b) \times g}{Bj\ Agregat})$

***Marshall Quotient* (*MQ*)**

$MQ = \frac{S}{R}$ ……6

Keterangan :

S : nilai stabilitas (kg)
R : nilai *flow* (mm)
MQ : nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

Kepadatan (*Density*)

$G = \frac{C}{F}$ ……7

G : *Density* (gr/cc)
C : berat benda uji sebelum kering (gr)
F : volume atau isi (cm^3)

***Index Retained of Strength* (*IRS*)**

Index Retained Strength atau uji perendaman *marshall* merupakan pengujian untuk mengidentifikasi bagaimana air, suhu, dan kondisi cuaca dapat mengubah karakteristik suatu campuran. Uji ini pada dasarnya

mirip dengan pengujian *marshall* biasa, namun berbeda dalam durasi waktu campuran tersebut direndam dalam bak air. Berdasarkan standar ASTM D.1075-54 (1969), terdapat dua pendekatan dalam pengujian perendaman *marshall*, satu menggunakan waktu perendaman 4 × 24 jam pada suhu sekitar 50°C dan yang lainnya memakai waktu perendaman 1 × 24 jam pada suhu sekitar 60°C. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk mencari nilai *IRS*.

$$IRS = \frac{S2}{S1} \times 100 \quad \text{.....8}$$

Keterangan :

S1 : nilai rata-rata stabilitas standar (kg)

S2 : nilai rata-rata stabilitas setelah perendaman 24 jam (kg)

METODE

Penelitian yang dilakukan bersifat uji eksperimental dengan penelitian di Laboratorium yang mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 tentang "Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas" dengan benda uji sebanyak 36 sampel. Variasi kadar aspal yang digunakan 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dengan dan tanpa *filler* serbuk bata merah. Sedangkan untuk variasi lama perendaman yaitu 30 menit dan 24 jam. Dimana, benda uji berjumlah 3 buah pada setiap variasinya.

Persiapan

Dalam tahap persiapan pada penelitian ini, dilakukan segala hal yang menyangkut dengan terdukungnya pelaksanaan proses penelitian ini. Persiapan tersebut meliputi studi literatur, pelaksanaan pengadaan material seperti agregat kasar, pengambilan agregat halus, dan aspal dengan melakukan pemesanan, serta limbah bata merah yang akan digunakan dalam penelitian.

Pemeriksaan dan Pengujian Material

Pengujian karakteristik dilakukan untuk memastikan apakah bahan yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi spesifikasi, pengujian yang dilakukan meliputi, pengujian aspal Pen 60/70, pengujian analisa saringan, pengujian berat jenis, berat isi agregat, dan keausan agregat dan dilakukan pada Laboratorium Jalan Raya Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sorong.

Perancangan dan Pencampuran Aspal

Metode rancangan campuran (*Mix Design*) berdasarkan Standar Spesifikasi Bina Marga 2018, bahan yang digunakan adalah aspal, agregat dan *filler* serbuk bata merah.

Urutan dalam pencampuran yaitu, agregat kasar dan halus dan aspal dipanaskan kemudian aspal yang telah dipanaskan dituangkan ke agregat dengan suhu pencampuran 160°C dan suhu pemadatan 145°C selanjutnya di tumbuk sebanyak 75 kali pada sisi atas dan 75 kali pada sisi bawah, setelah itu benda uji diukur diameter dan tinggi dan dilanjutkan dengan pengujian pada kondisi KAO.

Marshall Test

Benda uji direndam pada suhu ruang selama 24 jam lalu sebelum dilakukannya uji *marshall* benda uji di timbang di dalam air dan benda uji di masukkan ke dalam *waterbath* selama 30 menit pada suhu sekitar 60°C setelah itu dilakukan pembebanan menggunakan alat *marshall test*.

Immersion Test

Membuat benda uji sesuai dengan Kadar Aspal Optimum yang telah ditentukan dari pengujian *marshall*. Benda uji diukur dan ditimbang lalu direndam selama 24 jam pada suhu ruang lalu diangkat dan ditimbang di dalam air kemudian benda uji dimasukkan ke dalam *waterbath* selama 24 jam pada suhu 60°C, dan benda uji diberikan pembebanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Material Penyusun Campuran Aspal

Berikut ini adalah nilai rekapitulasi hasil pengujian karakteristik material yang meliputi aspal dan agregat sebagai material penyusun campuran AC-WC dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Material

No	Nama Pengujian	Interval	Acuan	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Aspal				
	a. Penetrasi	60-70	SNI 2456:2011	67	Memenuhi
	b. Viskositas	≥ 300	ASTM D 2170-10	272,5	
	c. Titik Lembek	≥ 48	SNI 2434:2011	50	
	d. Daktilitas	≥ 100	SNI 2432:2011	> 140	
	e. Titik Nyala	≥ 232	SNI 06-2433:1991	314	
	f. Kelarutan TCE	≥ 99	AASHTO T44-14	99,87	
	g. Berat Jenis	≥ 1,0	SNI 2441:2011	1,02	
2	Agregat Kasar				
	a. Berat Jenis	≥ 2,5	SNI 03-1970:1990	2,58	Memenuhi
	b. Keausan dengan mesin Los Angeles	≤ 30	SNI 2417:2008	16,41	
3	Agregat Halus				
	a. Berat Jenis	≥ 2,5	SNI 1961:2016	2,59	Memenuhi
	b. Berat Isi	1,4-1,9		1,66	

Sumber : Hasil Pengujian, 2024

Berdasarkan Tabel 2 diatas, dapat disimpulkan bahwa seluruh pengujian karakteristik material memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh spesifikasi yang menjadi acuan dan dapat digunakan sebagai material pencampuran campuran AC-WC.

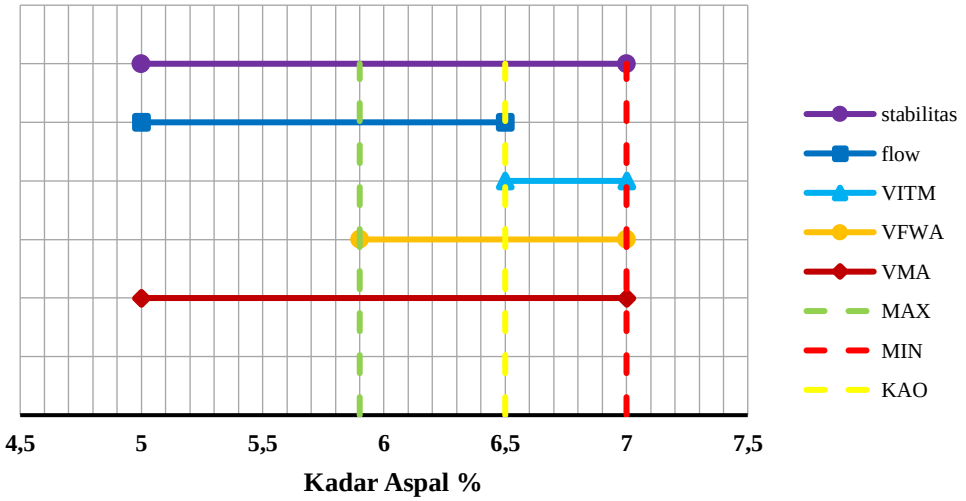
Hasil Pengujian *Marshall Standard*

Setelah dilakukan perhitungan (*Mix Design*), dilanjutkan dengan pengujian *Marshall Standard* untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *AC-WC*. Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dengan penggunaan abu batu sebagai *filler* dapat dilihat pada Tabel 3, sedangkan penentuan nilai KAO pada campuran *AC-WC* disajikan pada Gambar 2 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Marshall* Pengunaan *Filler* Abu Batu pada Campuran *AC-WC*

Kadar Aspal	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (gr/cc)
5%	1013,434	3,600	281,918	9,584	53,348	20,543	2,250
5,5%	1132,797	3,700	306,235	8,344	58,012	20,818	2,278
6%	1411,454	4,017	357,462	6,275	66,061	19,706	2,312
6,5%	1483,929	4,000	371,028	5,067	74,286	19,696	2,325
7%	1307,896	4,700	276,293	4,025	78,796	19,837	2,333
Spesifikasi	> 800	2 - 4	-	3 - 5	> 65	> 15	-

Sumber : Hasil Pengujian, 2024



Gambar 2. Nilai Kadar Aspal Optimum Campuran *AC-WC* dengan Menggunakan Abu Batu Sebagai *Filler*
Sumber: Hasil Pengujian, 2024

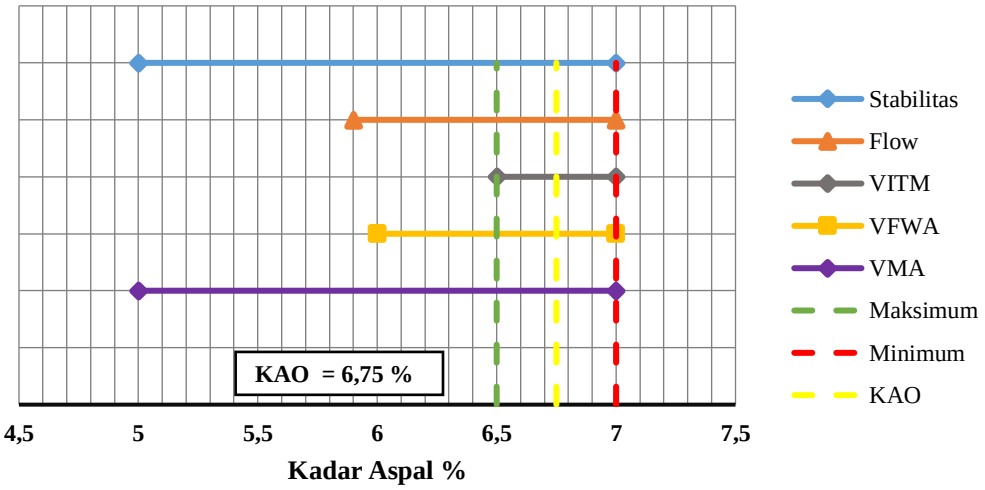
Hasil Pengujian *Marshall* Bata Merah

Dalam pengujian ini, digunakan serbuk bata merah sebagai bahan pengganti *filler* dengan variasi kadar aspal yang berbeda, yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dari berat total kadar aspal optimum. Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dengan penggunaan serbuk bata merah sebagai *filler* dapat dilihat pada Tabel 4, sedangkan penentuan nilai KAO pada campuran *AC-WC* disajikan pada Gambar 3 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Marshall* Penggunaan *Filler* Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-WC*

Kadar Aspal	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (gr/cc)
5%	1888,991	1,575	1265,561	10,719	50,238	21,540	2,236
5,5%	2211,290	1,450	1531,896	8,474	58,843	20,586	2,275
6%	1955,627	2,155	1254,159	6,934	65,378	20,270	2,296
6,5%	1832,911	3,395	610,367	4,778	72,917	19,762	2,323
7%	1497,411	4,100	350,449	4,593	75,142	20,311	2,305
Spesifikasi	> 800	2 - 4	-	3 - 5	> 65	> 15	-

Sumber : Hasil Pengujian, 2024



Gambar 3. Nilai Kadar Aspal Optimum Campuran *AC-WC* dengan Menggunakan Serbuk Bata Merah Sebagai *Filler*
Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penggunaan *filler* abu batu (Tabel 3) didapatkan nilai KAO sebesar 6,5% (Gambar 2) dan penggunaan *filler* serbuk bata merah (Tabel 4) didapatkan KAO 6,75% (Gambar 3) dengan menggunakan bahan ikat aspal Pertamina Penetrasi 60/70. Penggunaan *filler* serbuk bata merah dapat mempengaruhi stabilitas dari campuran dengan nilai stabilitas mencapai angka tertinggi yaitu pada kadar 5,5% dengan hasil 2211,290 kg.

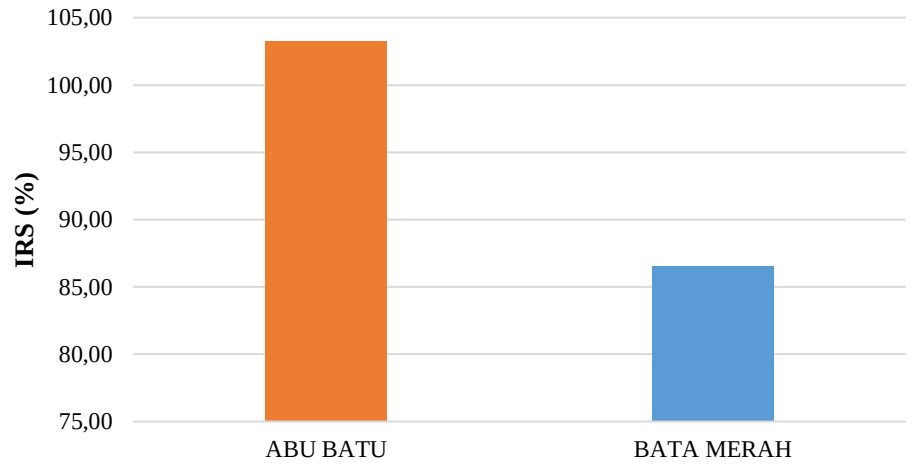
Hasil Pengujian *Immersion*

Nilai *Index of Retained Strength* (*IRS*) merupakan hasil perbandingan antara stabilitas rendaman setelah durasi 0,5 jam dengan stabilitas rendaman setelah durasi 24 jam, dan nilai ini dinyatakan dalam bentuk persentase (%). Berikut nilai IRS pada Campuran AC-WC dengan penggunaan abu batu dan serbuk bata merah sebagai bahan pengisi (*filler*) disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 4.

Tabel 5. Nilai *IRS* Abu Batu dan Serbuk Bata Merah Campuran AC-WC

Bahan Tambah	Benda Uji	Stabilitas		IRS (%)
		0,5 jam	24 jam	
Abu Batu	A	1454,087	1939,186	103,271
	B	1282,550	1402,256	
	C	1513,772	1662,680	
	Rata-rata	**1483,929**	**1532,468**	
Bata Merah	A	1677,967	1656,663	86,067
	B	1652,356	1310,615	
	C	1802,718	1422,483	
	Rata-rata	**1665,161**	**1366,549**	

Sumber : Hasil Pengujian, 2024



Gambar 4. Perbandingan *Filler* Abu Batu dan Bata Merah Terhadap Nilai *IRS* pada Campuran *AC-WC*
Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Grafik ini menunjukkan perbandingan nilai *IRS* antara dua bahan yaitu abu batu dan serbuk bata merah dalam campuran *AC-WC*. Nilai *IRS* untuk abu batu adalah 103,271%. Ini menunjukkan bahwa abu batu memiliki tingkat stabilitas yang tinggi dalam campuran *AC-WC*. Nilai *IRS* dan untuk bata merah adalah 82,067%. Ini menunjukkan bahwa serbuk bata merah memiliki tingkat stabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan abu batu dalam campuran *AC-WC*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran *AC-WC* dengan serbuk bata merah dan abu batu, dapat disimpulkan sebagai berikut :

Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (*AC-WC*) untuk penggunaan *filler* abu batu yang didapat adalah 6,5% dan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk penggunaan *filler* bata merah yaitu 6,75%.

Penggunaan serbuk bata merah sebagai *filler* mempengaruhi karakteristik parameter *Marshall*. Kadar Aspal Optimum pada peggunaan *filler* serbuk bata merah adalah 6,75%. Nilai untuk stabilitas yang memenuhi syarat diperoleh yaitu 1888,99 kg, 2211,29 kg, 1955,63 kg, 1832,91 kg, 1497,41 kg, nilai untuk *Flow* yang memenuhi spesifikasi berada pada kadar aspal 6%, 6,5%, nilainya berturut-turut yaitu 2,155 mm, 3,395 mm dan untuk nilai *VMA* yang memenuhi syarat diperoleh yaitu 21,540%, 20,586%, 20,270%, 19,762%, 20,311%. Nilai-nilai tersebut mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan kadar aspal pada penggunaan *filler* serbuk bata merah, sedangkan untuk nilai *VITM*, *VFWA*, *VMA*, dan *Density* meningkat pada penggunaan *filler* abu batu.

Penggunaan serbuk bata merah sebagai *filler* tidak mampu meningkatkan nilai *IRS*. Nilai *IRS* untuk abu batu adalah 103,271%, sementara itu nilai *IRS* untuk serbuk bata merah adalah 82,067%, yang menunjukkan bahwa serbuk bata merah memiliki tingkat stabilitas yang lebih rendah dibandingkan abu batu dalam campuran *AC-WC*. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan, abu batu memiliki nilai *IRS* yang lebih tinggi dibandingkan dengan serbuk bata merah.

REFERENSI

Arrum, D. N. A. (2018). Perbandingan Penggunaan Batu Sungai Boyong Dan Batu Clereng Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Ac-Bc Menggunakan Aspal Starbit E-60. *Tugas Akhir*, *492*, 15–48.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Campuran Beraspal Panas (Hotmix). *Spesifikasi Umum 2018*.

Iqbal, I., & Fauziah, M. (2023). Experimental study of the use of waste rubber tire additives using the sequential mixing method on the performance of Hot-Rolled Sheet-Wearing Course mixtures. *TEKNIK*, 44(2), 167-175.

Iqbal, I., Sukowati, D. G., Rusmin, M., Desembardi, F., & Sasim, K. P. (2024). Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik LDPE Terhadap Karakteristik Laston AC-WC Dengan Metode Marshall: The Influence of LDPE Plastic Waste Utilization on the Characteristics of AC-WC Mixture Using the Marshall Method. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, *6*(2), 216-221.

Irwansyah.SSA, Desembardi F, Sukowati. DG (2022). Pengaruh Temepratur Pada Campuran Aspal Ac-Wc Dengan Paramater Marshall-Test. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil (JIMATS) Vol. 1(1),13-18*.

Kementerian Pupr. (2022). *Modul : Bahan Agregat Untuk Perkerasan Lentur*. 1–40.

Misbah, M., Pratiwi Jf, A., Arman, A., Mulyati, M., & Rofifah, J. (2023). Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bata Merah Bukittinggi Sebagai Filler Pada Campuran Ac-Wc Dengan Pengujian Marshall. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, *1*(2), 46–52. Https://Doi.Org/10.21063/Jtv.2023.1.2.6

Pertamina. (2023). *Pengertian Aspal*. Https://Onesolution.Pertamina.Com/Insight/Page/Pengertian_Aspal

Purwantoro, A. D. S., Ramadhan, M. A., Widodo, S., & Saputra, A. (2023). Karakteristik Marshall AC-WC Dengan Penambahan Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethelene (LDPE). *SLUMP TeS: Jurnal Teknik Sipil*, *1*(2), 1-7.

Sarosa. (2017). Bab Ii Landasan Teori. In *Journal Of Chemical Information And Modeling* (Vol. 53, Issue 9).

Wibowo, A., Widhiastuti, Y., & Tjandra, A. A. (2022). Pemanfaatan Serbuk Bata Merah Untuk Campuran Aspal Beton Ac-Wc Terhadap Karakteristik Marshall. *Pendidikan Kimia Pps Unm*, *1*(1), 91–99.

Yudaningrum, F., & Ikhwanudin, I. (2017). Identifikasi Jenis Kerusakan Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Kedungmundu-Meteseh). *Teknika*, *12*(2), 16–23. Https://Doi.Org/10.26623/Teknika.V12i2.638

Zahra, A., Aulia, W., Hartatik, N., Rizkiardi, A., & Prasetyo, Y. D. (2024). *Pemanfaatan Limbah Produksi Bata Merah Ud . Bata Pres Mrh*. *8*(200), 1–8.