

PEMANFAATAN LIMBAH ABU BATU BARA SEBAGAI FILLER PADA LATASTON LAPIS AUS (HRS-WC)

Rifanie Gazalie¹, Muhammad Fauzi², Riska Hawinuti^{3*}, Muhammad Helmi⁴

^{1,2,3,4} Prodi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Banjarmasin, Indonesia
e-mail: *³riskahawinuti@poliban.ac.id (corresponding author)

Abstrak

Penggunaan batu bara sebagai sumber energi industri dan pembangkit listrik selain menghasilkan limbah buangan yang membutuhkan ruang untuk penimbunan, juga memunculkan kemungkinan pencemaran lingkungan. Limbah yang dihasilkan oleh proses pembakaran batu bara berupa Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) dimana menurut PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang menyatakan bahwa FABA sebagai hasil akhir dari pembakaran batu bara, bukan lagi termasuk kategori limbah B3, membuka kesempatan yang luas untuk pemanfaatan FABA dari hanya limbah, menjadi bahan bangunan, substitusi semen, bahan additif untuk campuran filler pada perkerasan lentur serta restorasi tambang.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan akibat pencampuran bottom ash sebagai filler terhadap sifat-sifat aspal pada campuran beraspal HRS-WC. Pengujian material yang dilakukan adalah pengujian agregat, pengujian aspal dan pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2.

Pengujian yang dilakukan telah memenuhi spesifikasi dengan proporsi agregat campuran agregat kasar 13%, agregat sedang 0%, abu batu 71%, pasir 14% dan filler (berupa bottom ash) 2% yang menghasilkan kadar aspal optimum 6,90% dengan nilai kadar aspal efektif sebesar 6,20%; VIM sebesar 3,758%; VMA sebesar 17,325%; VFB sebesar 78,421%, Stabilitas Marshall 876,991 Kg dan Marshall Quotient sebesar 269,209 Kg/mm.

Kata kunci—FABA, HRS-WC, Marshall Test.

Abstract

Coal as an industrial energy sources and power plants which produced waste that requires space for landfilling, also raises the possibility of environmental pollution. Coal waste produced in form of Fly Ash and Bottom Ash (FABA), which according to PP No. 22 Tahun 2021 concerning the Implementation of Environmental Protection and Management states that FABA as the end result of burning coal is no longer listed in hazardous and toxic materials category which generated opportunities for the utilization of FABA from waste into building material, cement substitution, additive material for filler mixtures in flexible pavements and mine restoration.

The research was to determine the effect of using bottom ash as filler in the HRS-WC asphalt mixture. The material tests carried out were aggregate, asphalt and hot asphalt mixtures testings using Marshall tools according to General Specifications of Highways 2018 revision 2.

The result met the specifications with the proportion of mixed aggregate of coarse aggregate 3%, medium aggregate 0%, fine aggregate (stone ash) 71%, sand 14% and filler (bottom ash) 2% which produces an optimum asphalt content 6,90% with an effective asphalt content value 6,20%; VIM 3,758%; VMA 17,325%; VFB 78,421%, Marshall Stability 876,991 Kg and Marshall Quotient 269,209 Kg/mm.

Keywords— FABA, HRS-WC, Marshall Test.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tingginya penggunaan bahan bakar fosil di Kalimantan menimbulkan beberapa dampak negatif yaitu selain menghasilkan limbah buangan dengan jumlah berlimpah, juga menghasilkan permasalahan yang kompleks bagi perusahaan dan lingkungan hidup, dimana semakin hari, kebutuhan akan ruang atau lokasi untuk penimbunan limbah akan semakin meningkat dan membuka adanya kemungkinan limbah secara tidak sengaja mencemari tanah, sumber air dan udara yang menjadi momok tersendiri bagi masyarakat di sekitar.

Sebagai bahan bakar utama untuk aktivitas pembangkit listrik tenaga uap, batu bara yang dibakar akan menghasilkan limbah buangan yang terdiri dari *Fly Ash dan Bottom Ash* (FABA). (Munir, 2008). Sebagaimana yang diatur pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang menyebutkan bahwa FABA sebagai hasil akhir dari kegiatan pembakaran batu bara, tidak lagi terdaftar pada kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), hal ini disebabkan pelaksanaan proses pembakaran batu bara sebagai bahan bakar di PLTU dilakukan pada suhu yang sangat tinggi, sehingga kandungan “karbon tidak terbakar” di dalam FABA menjadi minimum dan memiliki sifat lebih stabil saat disimpan serta dapat dipergunakan sebagai material tambahan untuk bahan bangunan, bahan pengganti semen, bahan aditif pada material jalan (perkerasan), bahan aditif pekerjaan tambang bawah tanah atau *underground mining* serta restorasi tambang (Setiawan, 2010).

Perkerasan lentur sendiri hingga saat ini masih merupakan pilihan yang paling sering digunakan pada struktur jalan raya, karena perkerasan ini memiliki daya dukung yang besar sehingga mampu menahan beban lalu lintas di atasnya, serta biaya yang diperlukan untuk membangun konstruksi yang jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan perkerasan rigid. Dinilai dari aspek tingkat kenyamanan saat berkendara, perkerasan lentur memiliki tingkat kenyamanan yang lebih baik dari perkerasan jenis lainnya, hal ini karena sifat lentur perkerasan dan permukaan yang dihasilkan lebih rata. (Sukirman, 2003).

Berkembangnya teknologi perkerasan jalan membuka peluang untuk memanfaatkan berbagai bahan material alternatif yang memiliki keunggulan agar dapat menjadi inovasi dalam hal peningkatan

kualitas lapis perkerasan. Aspal sebagai salah satu material yang digunakan sebagai bahan pembuatan lapisan perkerasan jalan raya, memiliki harga yang lebih mahal dibandingkan dengan komponen penyusun perkerasan lentur lainnya sehingga berbagai macam zat *additif* telah ditambahkan dan di *mixing*, dengan harapan dapat menghasilkan sifat yang mampu mengatasi kelemahan yang dimiliki aspal, sehingga akan meminimalisir jumlah aspal yang digunakan, dengan harapan akan mereduksi penggunaan aspal sehingga akan berdampak pada penurunan biaya produksi.

Latar belakang inilah yang menjadi dasar pemanfaatan limbah abu batu bara dalam hal ini *bottom ash* sebagai *filler* dalam campuran aspal guna peningkatan nilai stabilitas, sekaligus salah satu langkah konkrit penanganan jumlah limbah dengan pemanfaatannya untuk aktifitas industri dan konstruksi.

B. Tinjauan Pustaka

1) *Aspal*: Pada Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan revisi 2 tahun 2020 dikatakan bahwa aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur (*flexible pavement*) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena memiliki tingkat kekedapan air yang tinggi, daya lekat pada material yang kuat, bersifat adhesif dan mudah dalam pengaplikasian lapangannya, kelenturannya mudah diawasi untuk dicampur dengan material agregat serta tahan terhadap garam-garaman, asam dan alkali (Hendarsin, 2000)

Sebelum digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal, baik aspal minyak, aspal modifikasi ataupun aspal alam harus terlebih dahulu diperiksa sifat-sifatnya. Adapun sifat-sifat aspal yang perlu diketahui dan diperiksa adalah penetrasi, viskositas, titik lembek, titik nyala, berat jenis, kemuluran, durabilitas dan kepekaan aspal terhadap temperatur. Sifat-sifat inilah yang mempengaruhi workabilitas, kinerja dan durabilitas campuran beraspal yang dihasilkan. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017).

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70 yang memiliki ketentuan/ syarat sebagai aspal keras penetrasi 60/70 dalam campuran sesuai Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, sebagaimana yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Ketentuan Aspal Keras Pen 60/70 dalam Campuran

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I.Aspal Pen.60-70
Penetrasi pada 25°C (dalam 0,1 mm)	SNI 2456-2011	60-70
Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300
Titik Lembek (dalam °C)	SNI 2434-2011	≥ 48
Daktilitas pada 25°C, (dalam cm)	SNI 2432-2011	≥ 100
Titik Nyala (dalam °C)	SNI 2433-2011	≥ 232
Kelarutan dalam <i>Tricholoethylene</i>	ASSTHO T44-14	≥ 99
Berat Jenis	SNI 2441-2011	≥ 1,0
Kadar Parafin Lilin (dalam %)	SNI-03-3639-2002	≤ 2

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan – Revisi 2, 2020)

2) **Agregat:** Agregat sebagai salah satu material penyusun struktur perkerasan jalan didefinisikan sebagai sekumpulan butir-butir batu pecah dari pasir atau mineral yang lain, baik sebagai hasil alam maupun hasil produksi/ buatan. Agregat sebagai komponen utama penyusun struktur perkerasan jalan, dengan nilai persentase berat sebesar 90% - 95% atau jika berdasarkan persentase volume adalah sebesar 75% - 85%. Agregat yang digunakan harus dalam keadaan bersih dari kotoran, baham-bahan organik atau bahan lain yang tidak dikehendaki, karena akan mengurangi kinerja campuran. (BSN, 2008).

Agregat kasar atau *coarse aggregate* (CA) yang diinginkan untuk campuran aspal adalah material yang tertahan ayakan No. 4 (4,75 mm) yang bersih, keras, awet dan dilakukan dalam kondisi basah, serta tidak terdapat material-material lempung atau material pencampur yang tidak diinginkan lainnya dimana agregat kasar tersebut harus memenuhi ketentuan nilai spesifikasi sesuai Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, yang ditampilkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	Maks. 12%
	Magnesium sulfat	Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	Maks. 6%
	100 putaran	Maks. 30%
	500 putaran	Maks. 30%

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai	
Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%	
	500 putaran	Maks. 40%	
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439: 2011	Min. 95%	
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619 : 2012	100/90 *)
	Lainnya		95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	SNI 8287 : 2016	Maks. 5%
	Lainnya	Perbandingan an 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%	

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan – Revisi 2, 2020)

Agregat fraksi medium atau *medium aggregate* (MA) adalah material berukuran lolos saringan No. 3/8 (9,5 mm) dan tertahan saringan No.8 (2,36 mm). (Surat, 2014)

Agregat halus atau *fine aggregate* (FA) sendiri merupakan pasir atau *sand* (S) atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm) harus terdiri dari bahan yang kondisi bersih dan tanpa ada material lempung atau bahan material organik lainnya. Batasan penggunaan pasir alam sebagai material campuran aspal adalah tidak melebihi 15% terhadap berat total campuran, dimana agregat halus tersebut harus memenuhi ketentuan nilai spesifikasi sesuai Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, sebagaimana yang ditampilkan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Nilai Ketentuan untuk Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 10%

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan – Revisi 2, 2020)

3) *Bahan pengisi atau filler fraction (FF)*: harus memenuhi ketentuan bahwa *filler* yang ditambahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu, debu kapur magnesium atau kapur atau dikenal dengan istilah *limestone dust* atau debu kapur padam atau dolomit yang sesuai dengan AASTHO M303-89 (2014) atau semen atau abu terbang tipe C dan F. Untuk aspal pen 60-70, diizinkan untuk menambahkan semen sebagai bahan pengisi. *Filler* harus dipastikan kering sempurna, tidak ada gumpalan-gumpalan dan apabila diuji menurut panduan SNI ASTM C136:2012 harus mengandung $\geq 75\%$ bahan yang lolos ayakan Nomor 200 (dengan ukuran 75 mikron) jika dibandingkan dengan total beratnya. Untuk *filler* yang ditambahkan (*filler added*) pada material semen harus berada dalam *range* 1% - 2% terhadap berat total agregat dan untuk bahan pengisi lainnya harus berada dalam *range* 1% sampai 3% terhadap berat total agregat kecuali SMA. Khusus untuk SMA tidak diperkenankan menggunakan *filler* berupa semen. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020).

4) *Hot Rolled Sheet (HRS)*: HRS atau juga dikenal dengan istilah *Lataston*, berdasarkan bentuk dan letaknya terdiri dari dua yaitu HRS Fondasi (*HRS-Base*) dan HRS Lapis Aus (*HRS Wearing Course*, *HRS-WC*) dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. HRS –WC memiliki proporsi fraksi agregat yang lebih kecil dari HRS-Fondasi. Untuk memperoleh hasil yang maksimal, maka campuran aspal harus didesain untuk sesuai spesifikasi dengan gradasi yang benar-benar senjang.

5) *Gradasi Agregat Campuran*: Gradasi agregat campuran merupakan distribusi variasi ukuran butir agregat, dimana seluruh partikel agregat yang akan digunakan dalam campuran aspal harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan telah ditentukan proporsi masing-masing sesuai ukuran partikelnya. Stabilitas dan kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan aspal, salah satunya dipengaruhi oleh besarnya rongga antar butir yang ditentukan oleh gradasi agregat yang diberikan. Pada campuran aspal, gradasi agregat sangat berpengaruh pada kualitas campuran aspal itu sendiri, sehingga di tentukan berapa nilai batasan dalam masing-masing jenis gradasi diatas, yang dikenal dengan batas atas dan batas bawah, dimana gradasi agregat gabungan tersebut harus memenuhi ketentuan persentase berat lolos terhadap total agregat untuk HRS sesuai Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, sesuai tabel 4 berikut.

Tabel 4. Gradasi Agregat Gabungan Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat	
ASTM	(mm)	Lataston (HRS)	
		WC	Base
3/4"	19	100	100
1/2"	12,5	90 – 100	90 – 100
3/8"	9,5	75 – 85	65 – 90
No.4	4,75		
No.8	2,36	50 – 72	35 – 55
No.16	1,18		
No.30	0,600	35 – 60	15 – 35
No.50	0,300		
No.100	0,150		
No.200	0,075	6 – 10	2 – 9

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan – Revisi 2, 2020)

Pada penelitian ini metode yang dipergunakan untuk memperoleh campuran agregat menggunakan metode coba-coba atau dikenal dengan istilah “metode *trial and error*”. Dengan prinsip kerja adalah peneliti wajib memahami syarat yang menjadi batas gradasi, menginputkan data spesifikasi gradasi, persentase lolos saringan tiap-tiap fraksi dan nilai spesifikasi ideal pada kolom data sesuai peruntukannya masing-masing. Apabila sudah mencapai syarat gradasi gabungan yang paling ideal, maka dapat digunakan untuk campuran beraspal panas sebagai perkerasan jalan.

6) *Abu Batu Bara*: Abu batu bara (FABA) yang diatur berdasarkan Spesifikasi Khusus SKh-1.5.15 terbagi menjadi *fly ash* sebagai produk sisa berupa material-material yang 'terbang' dan *bottom ash* sebagai produk sisa yang 'terendapkan', di bagian bawah. FABA sebagai hasil akhir dari pembakaran batu bara dengan suhu tinggi pada unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang dicampur dengan komposisi tertentu baik yang langsung berasal dari tungku pembakaran atau yang diambil dari lokasi penyimpanan (*ash pond*). Abu terbang adalah hasil pembakaran batu bara dengan ukuran butir halus yaitu $\leq 4,75$ mm atau lolos ayakan nomor 4, sedangkan *bottom ash* adalah hasil pembakaran batu bara yang mempunyai ukuran butiran lebih besar dan terendap di bagian dasar tungku pembakaran mempunyai ukuran butiran yang kasar ($\leq 37,5$ mm atau lolos ayakan 1,5). (Kementerian Pekerjaan Umum dan perumahan Rakyat, 2021).

7) *Uji Marshall*: Menurut Silvia Sukirman 1999, kinerja campuran aspal beton dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksaan *Marshall*. *Marshall*

test bertujuan untuk mengetahui *Stability* atau nilai ketahanan campuran agregat dan aspal terhadap *Flow* atau kelelahan dari campuran aspal dan agregat. Dari proses persiapan benda uji sampai pemeriksaan dengan alat *Marshall*, akan diperoleh data-data:

- i) Kadar Aspal,
- ii) Berat Volume,
- iii) Stabilitas, yang menunjukkan kekuatan dan ketahanan terhadap alur (*rutting*),
- iv) Kelelahan plastis (*flow*) yang merupakan indikator perkerasan terhadap lentur,
- v) VIM adalah persen rongga dalam campuran yang merupakan indikator dari durabilitas, kemungkinan *bleeding*.
- vi) VMA adalah persen rongga terhadap agregat. VMA dan VIM merupakan indikator durabilitas.
- vii) Hasil bagi Marshall, merupakan hasil bagi stabilitas dan *flow*. Merupakan indikator kelenturan terhadap keretakan.
- viii) Penyerapan aspal. Memberikan gambaran berapa kadar aspal efektif.
- ix) Tebal film aspal. Merupakan petunjuk durabilitas campuran.
- x) Kadar Aspal Efektif.

Ketentuan batasan nilai untuk sifat-sifat campuran aspal Lataston/ HRS sesuai ketentuan pada Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Lataston

Sifat-sifat Campuran	Lataston	
	Lapis Aus	Lapis Fondasi
Kadar aspal efektif, dalam satuan %	Min 5,9	5,5
Jumlah tumbukan per bidang	50	
Rongga dalam campuran dalam satuan %	Min. 3,0	Maks. 5,0
Rongga dalam Agregat (VMA) dalam satuan %	Min. 17	17
Rongga terisi aspal, dalam satuan %	Min. 68	
Stabilitas Marshall, dalam satuan Kg	Min. 600	
<i>Marshall Quotient</i> , dalam satuan Kg/mm	Min. 250	
Nilai Stabilitas Marshall Sisa (dalam satuan %) setelah dilakukan perendaman 24 jam, 60°C	Min. 90	

(Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan – Revisi 2, 2020)

C. Review Literatur

Penelitian sebelumnya yang menjadi acuan penelitian ini antara lain:

1) Menurut Cahyono, dkk (2021): “Pada campuran aspal AC-WC diperoleh kondisi kadar aspal 5,7%, dengan nilai *density* sebesar 2,246 gr/cc; VMA sebesar 16,92%; VFB sebesar 73,14%; VIM sebesar 4,54%; nilai stabilitas sebesar 1169 kg; nilai *flow* sebesar 3,7 mm dan nilai *Marshall Quotient* sebesar 324,7 kg/mm. Dengan adanya penambahan variasi *filler* serbuk batu bara sebesar 0%, 1%, 2% dan 3% didapat hasil nilai VMA maksimal sebesar 75,1% pada variasi 3%; nilai VIM maksimal sebesar 5,48% pada variasi 0%; nilai VFB maksimal sebesar 16,26% pada variasi 2%; nilai stabilitas maksimal sebesar 1.828 kg pada variasi 3%; nilai *flow* maksimal sebesar 3,53 mm pada variasi 0% dan nilai *Marshall Quotient* maksimal sebesar 600 kg/mm pada campuran 3%.

2) Menurut Fuady, BH, dkk (2021): “Pada aspal pen 60/70 dengan variasi 5% sampai 6% menggunakan *filler* semen, *fly ash* batu bara, pecahan batu bata yang dihaluskan (serbuk batu bata) dan gabungan *fly ash* batu bara dan pecahan batu bata yang dihaluskan, diperoleh hasil berupa Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,5% saat menggunakan *filler* semen; KAO sebesar 6% saat menggunakan *filler* serbuk batu bata; KAO sebesar 5% saat menggunakan *filler fly ash* batu bara dan KAO sebesar 5,5% saat menggunakan *filler fly ash* batu bara dan pecahan batu bata.

3) Menurut Afrilla, dkk (2021): “Dengan proporsi *fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan sebesar 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dari total berat campuran, dimana perbandingan masing-masing campuran variasi *fly ash* : *bottom ash* adalah 55% : 45%. Hasil uji karakteristik Marshall menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* dan *bottom ash* pada campuran AC-WC dapat meningkatkan nilai stabilitas dan rongga yang terisi aspal (VFA) dan dapat mengurangi nilai rongga dalam campuran (VIM) dengan kadar *filler* pada variasi 2%, 4%, 6% dan 8%. Variasi optimum *fly ash* dan *bottom* yang dapat ditambahkan ke dalam campuran AC-WC adalah 2% dari total berat agregat. Nilai ini didasarkan pada nilai stabilitas tertinggi dibandingkan variasi lainnya adalah 1.654,74 kg.

4) Menurut Arifudin (2020): “Nilai KAO 5,65% diperoleh dari komposisi campuran *Bottom Ash* sebesar 35%, FA (*Fine Aggregate*) 0-5 mm 35%, MA (*Medium Aggregate*) 28% dan *Filler* 2%, yang menghasilkan nilai stabilitas sebesar 1495 kg, *flow* sebesar 3,47 mm, VIM sebesar 3,77%, VMA sebesar 14,78% dan

Marshall Quotient sebesar 359,7 kg/mm untuk karakteristik *Marshall* untuk Laston AC-WC.

5) Menurut Purnomo, dkk (2017): “Untuk mengetahui pengaruh campuran limbah batu bara Barito Utara, dibuat 4 komposisi campuran dengan masing-masing 5 variasi kadar aspal. Persentase agregat kasar, abu batu, pasir dan tambahan *filler* pada masing-masing komposisi adalah berturut-turut sebagai berikut: Komposisi A (56%; 29%; 15% dan 0%), Komposisi B (56%; 29%; 15% dan 1,5%), Komposisi C (56%; 29%; 15% dan 3%) dan Komposisi D (56%; 29%; 15% dan 4,5%). Berdasarkan hasil test *Marshall* diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada Komposisi A, B, C dan D berturut-turut sebesar 6,4%; 5,95%; 6,25% dan 6,3%”.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemakaian limbah abu batu bara dalam hal ini limbah *bottom ash* sebagai *filler* pada campuran aspal terhadap sifat campuran aspal pada Lataston Lapis Aus (HRS-WC).

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur, Uji Bahan dan Batuan, Politeknik Negeri Banjarmasin.

B. Sumber Material

Sumber material yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

1) *Agregat kasar dan medium*: dari Awang Bangkal diperoleh dari AMP PT. Adimanunggal Cipta Padunusa.

2) *Agregat halus*: berupa abu batu yang diperoleh dari Desa Awang Bangkal dan agregat halus yang berupa pasir alam berasal dari Sungai Barito, diperoleh dari AMP PT. Adimanunggal Cipta Padunusa.

3) *Bahan pengikat*: berupa aspal pertamina dengan penetrasi 60/70.

4) *Bahan tambahan*: berupa limbah *bottom ash* dari daerah Buhut, Timpah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah.

C. Instrument Penelitian

Pada penelitian ini adapun instrument utama yang digunakan adalah sebagai berikut:

1) *Cara Uji Pemeriksaan Agregat* terdiri dari alat uji berat jenis dan penyerapan (untuk pengujian Agregat Halus: piknometer, cetakan kerucut, batang penumbuk, oven dan peralatan pendukung lainnya. Agregat Kasar: tangki air, alat penggantung dan ayakan nomor 4, timbangan dan wadah contoh uji.). Uji analisa saringan dengan peralatan berupa satu set saringan dan mesin pengguncang saringan, oven dan peralatan pendukung lainnya. Uji keausan agregat dengan peralatan utama yaitu mesin *Los Angeles* dan bola-bola baja serta peralatan pendukung lainnya.

2) *Metode untuk Pemeriksaan Nilai Berat Jenis dan Nilai Penyerapan Air pada Agregat*. Menggunakan peralatan antara lain: alat uji berat jenis dan penyerapan (untuk pengujian Agregat Halus: cetakan kerucut, batang penumbuk, piknometer, oven dan peralatan penunjang lainnya. Agregat Kasar: timbangan, wadah contoh uji, tangki air, alat penggantung dan ayakan No.4). Uji analisa saringan dengan peralatan berupa satu set saringan dan mesin pengguncang saringan, oven dan peralatan pendukung lainnya. Uji keausan agregat dengan peralatan utama yaitu mesin *Los Angeles* dan bola-bola baja serta alat pendukung lainnya.

3) *Metode Uji Karakteristik Campuran Aspal*. Menggunakan peralatan uji berupa cetakan benda uji, mesin penumbuk manual atau otomatis, *extruder*, alat untuk pengujian *Marshall*, oven, *waterbath*, timbangan termometer dan peralatan penunjang lainnya.

D. Standar Pengujian

Standarisasi pengujian yang menjadi acuan atau panduan dalam penelitian ini antara lain:

1) *Pengujian Agregat*, dilaksanakan dengan SNI 2417:2008 untuk Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*; SNI 1970:2016 untuk Pengujian Berat Jenis dan Besaran Penyerapan Air Agregat Halus; SNI 1969:2016 untuk Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.

2) *Pengujian Material Aspal*, dilakukan dengan SNI 2434:2011 yaitu Metode Pengujian Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola; SNI 2441:2011 yaitu Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Keras; SNI 2432:2011 yaitu Metode Pengujian Daktilitas Aspal; dan SNI 2456:2011 yaitu Metode Pengujian Penetrasi Aspal; dan

3) *Pengujian campuran beraspal panas* dengan RSNI M-01-2003 yaitu Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat *Marshall*.

E. Pelaksanaan Pengujian

1) *Tahap Persiapan*: Pada tahap ini yang dilakukan adalah menyiapkan bahan dan pengecekan alat-alat yang akan digunakan untuk melakukan pengujian

2) *Pengujian Bahan Material*: Pada tahap ini dilakukan pengujian untuk agregat dan pengujian aspal.

- i) Pengecekan material agregat. Jenis pengujian yang dilakukan untuk agregat kasar adalah uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar, uji keausan dengan mesin Los Angeles dan analisa saringan agregat kasar sedangkan untuk agregat halus pengujian yang dilakukan adalah uji berat jenis dan penyerapan agregat halus dan analisa saringan agregat halus. Pengujian dilakukan dengan memasukkan benda uji dan bola-bola baja secara bersama-sama ke dalam mesin abrasi *Los Angeles*;
- ii) Pengujian Aspal Penetrasi 60/70. Jenis pengujian yang dilakukan untuk aspal penetrasi 60/70 adalah uji penetrasi pada suhu 25°C, uji titik lembek aspal, uji daktilitas pada suhu 25°C, uji penetrasi aspal pada suhu 25°C dan uji berat jenis aspal;

3) *Perencanaan Campuran*:

- i) Pengujian analisa saringan digunakan untuk gradasi campuran HRS-WC dimana perencanaan campuran beraspal ini dilakukan dengan mengatur proporsi campuran berdasarkan data presentase lolos analisa saringan agregat kasar dan agregat halus agar masuk berada di antara “batas atas” dan “batas bawah” pada tiap ukuran saringan yang ditentukan Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan dan Jembatan 2018 revisi 2. Proporsi campuran untuk penelitian ini didapatkan dengan cara *trial and error*.
- ii) Menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum campuran aspal HRS-WC untuk mendapatkan perkiraan awal nilai tengah pada kadar aspal optimum dengan menggunakan persamaan 1 berikut.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta} \quad (1)$$

Dimana CA merupakan persentase agregat kasar, FA merupakan persentase agregat halus, FF merupakan persentase bahan pengisi dan konstanta dengan nilai 0,5 – 1 untuk Laston dan 1 –2 untuk Lataston.

Setelah didapatkan hasil perhitungan perkiraan awal nilai tengah kadar aspal optimum, maka agar didapatkan rentang kadar aspal optimum dari nilai

tengah diturunkan senilai 1% dengan interval 0,5 dan dinaikkan senilai 1% dengan interval 0,5. Contoh, apabila didapat nilai tengah kadar aspal optimum 5% maka rentang kadar aspal optimumnya 5,5%; 6%; 6,5%; 7%; 7,5%.

4) *Penyiapan dan Pembuatan Benda Uji Aspal dengan campuran Bottom Ash Batu Bara*.

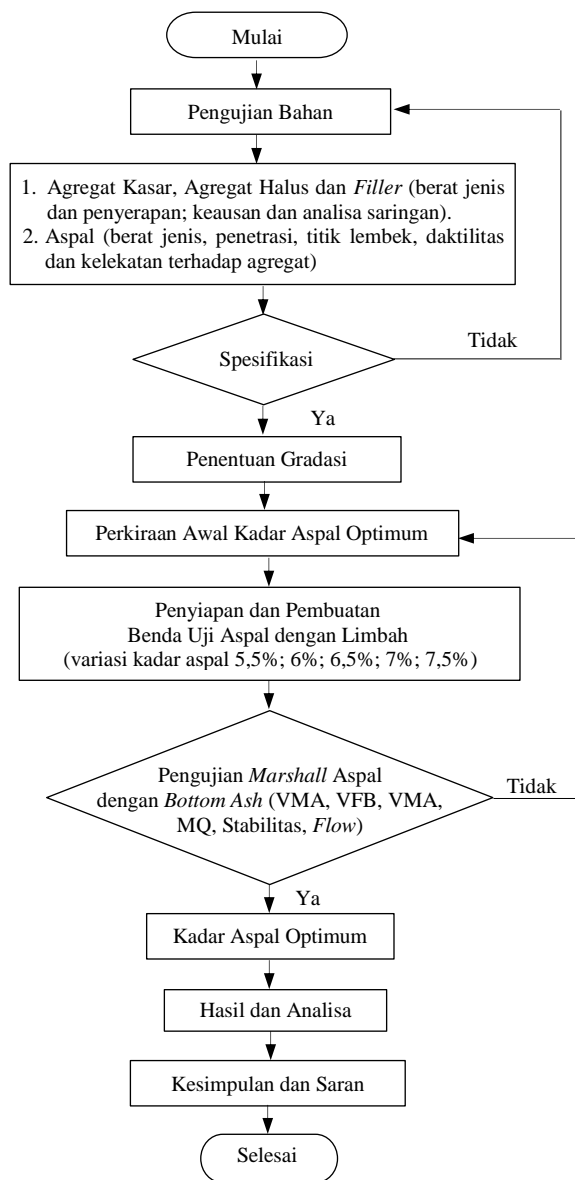
- i) Menyiapkan benda uji aspal dengan aspal murni yang akan digunakan dalam campuran ada 5 (lima) variasi kadar persentase, yaitu 5,5%; 6%; 6,5%; 7%; 7,5%, persentase aspal ini dihitung berdasarkan kadar aspal optimum (KAO).
- ii) Pembuatan benda uji sebanyak 2 buah untuk tiap kadar limbah abu batubara, sehingga total jumlah benda uji yang disiapkan 10 buah.

5) *Pengujian Marshall Benda Uji*: berupa pengujian kepadatan campuran, pengujian stabilitas dan pengolahan data uji Marshall (nilai stabilitas dan *flow*, selanjutnya dapat dihitung nilai parameter lainnya, yaitu VIM, VMA, VFB, berat volume, *Marshall Quotient* dan parameter lainnya yang sesuai dengan spesifikasi campuran)

Setelah itu dipilih kadar aspal yang memenuhi keseluruhan parameter-parameter tersebut untuk digunakan sebagai kadar aspal optimum (KAO).

F. Flow Chart atau Diagram Alir Penelitian

Flow chart atau Diagram alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian material dan perhitungan data yang dilakukan di laboratorium disajikan pada bagian dibawah ini.

A. Hasil Pemeriksaan Agregat

1) Hasil Pengujian terhadap Material Agregat Kasar (Coarse Aggregate): Berdasarkan pemeriksaan agregat kasar dengan standar uji sesuai SNI terkait, diperoleh hasil untuk pengujian material agregat kasar batu pecah 1/2 seperti yang disajikan pada tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil Pengujian Agregat Kasar 1/2

Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2008	gram/cm ³	2,59	Min. 2,5
Berat Jenis Permukaan Jenuh	SNI 1969-2008	gram/cm ³	2,596	Min 2,5
Berat Jenis Semu	SNI 1969-2008	gram/cm ³	2,605	Min. 2,5
Penyerapan Air	SNI 1969-2008	%	0,231	Maks. 3
Abrasi dengan Mesin Los Angeles	SNI 2417-2008	%	37,82	Maks. 40%

2) Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar (Medium Aggregate): Berdasarkan hasil pemeriksaan agregat kasar dengan standar uji sesuai SNI terkait, diperoleh hasil pengujian untuk agregat kasar batu pecah 1/1 seperti yang disajikan pada tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil Pengujian Agregat Kasar 1/1

Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2008	gram/cm ³	2,546	Min. 2,5
Berat Jenis Permukaan Jenuh	SNI 1969-2008	gram/cm ³	2,563	Min 2,5
Berat Jenis Semu	SNI 1969-2008	gram/cm ³	2,591	Min. 2,5
Penyerapan Air	SNI 1969-2008	%	0,689	Maks. 3
Abrasi dengan Mesin Los Angeles	SNI 2417-2008	%	37,822	Maks. 40%

3) Hasil Pemeriksaan pada Agregat Halus Abu Batu: Berdasarkan hasil pemeriksaan agregat halus dengan standar uji sesuai SNI terkait, diperoleh hasil pengujian untuk agregat halus abu batu seperti yang disaji pada tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil Pengujian Agregat Halus Abu Batu

Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
Berat Jenis Bulk	SNI 1970-2008	gram/cm ³	2,505	Min. 2,5
Berat Jenis Permukaan Jenuh	SNI 1970-2008	gram/cm ³	2,550	Min 2,5
Berat Jenis Semu	SNI 1970-2008	gram/cm ³	2,624	Min. 2,5

Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
Penyerapan Air	SNI 1970-2008	%	1,812	Maks. 3

4) Hasil Pengujian terhadap Agregat Halus Pasir Barito: Berdasarkan hasil pemeriksaan agregat halus dengan standar uji sesuai SNI terkait, diperoleh hasil pengujian untuk agregat halus berupa pasir Barito disajikan sesuai tabel 9 berikut.

Tabel 9. Hasil Pengujian Agregat Halus Pasir Barito

Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
Berat Jenis Bulk	SNI 1970-2008	gram/cm ³	2,505	Min. 2,5
Berat Jenis Permukaan Jenuh	SNI 1970-2008	gram/cm ³	2,550	Min 2,5
Berat Jenis Semu	SNI 1970-2008	gram/cm ³	2,624	Min. 2,5
Penyerapan Air	SNI 1970-2008	%	1,812	Maks. 3

5) Hasil Pemeriksaan Bottom Ash: Berdasarkan hasil pemeriksaan bottom ash dengan standar uji sesuai SNI terkait, diperoleh hasil pengujian untuk bottom ash seperti yang disajikan pada tabel 10 berikut.

Tabel 10. Hasil Pengujian Bottom Ash

Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
Berat Jenis Bulk	SNI 1970-2008	gram/cm ³	2,452	-
Berat Jenis Permukaan Jenuh	SNI 1970-2008	gram/cm ³	2,579	-
Berat Jenis Semu	SNI 1970-2008	gram/cm ³	2,690	-
Penyerapan Air	SNI 1970-2008	%	2,610	-

Khusus untuk material bottom ash, hasil pengujian tidak dilakukan perbandingan dengan spesifikasi yang disyaratkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (Revisi 2), hal ini dikarenakan bottom ash adalah sebagai limbah dari batu bara, dimana material tersebut tidak ada dibahas/ tidak masuk dalam Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (Revisi 2). Sehingga tidak ada batasan nilai untuk spesifikasinya.

B. Pengujian Aspal

Pengujian aspal dilakukan untuk mengetahui apakah material aspal tersebut memenuhi karakteristik yang

diminta pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2). Berdasarkan hasil pemeriksaan dan pengujian aspal berdasarkan SNI terkait, diperoleh nilai-nilai sebagaimana pada tabel 11 berikut.

Tabel 11. Hasil Pengujian Aspal

Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
Penetrasi	SNI 2456:2011	mm	65,3	60-70
Titik Lembek	SNI 2434:2011	°C	48,5	≥ 48
Berat Jenis Aspal	SNI 2441:2011	g/cm ³	1,026	≥ 1,0

C. Persen Lolos Agregat

Pada pengujian agregat yang telah dilaksanakan untuk agregat kasar (CA), agregat medium (MA), abu batu (FA), pasir (S) dan Bottom Ash didapatkan persen lolos saringan yang dapat dilihat pada tabel 12 berikut.

Tabel 12. Persen Lolos Agregat

Nomor Saringan		Persen Lolos (%)				
mm	inci	CA	MA	FA	S	FF
19,00	3/4"	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
12,70	1/2"	59,663	100,000	100,000	100,000	100,000
9,50	3/8"	18,364	95,975	100,000	100,000	100,000
2,36	No. 8	1,024	1,875	55,046	99,318	100,000
0,600	No. 30	0,538	1,641	30,147	97,860	100,000
0,075	No.200	0,185	0,559	5,887	2,420	73,274
	Pan	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

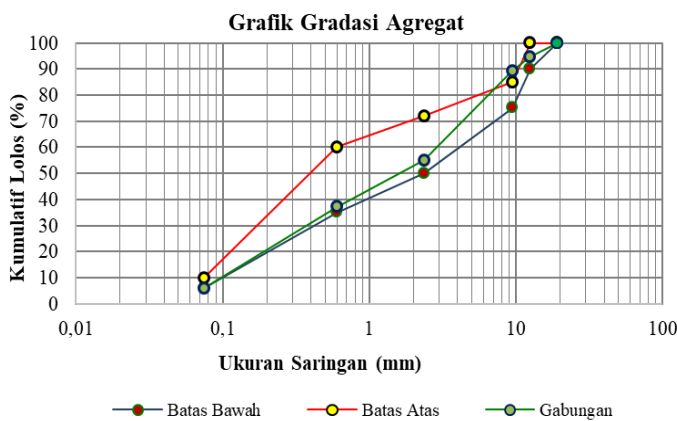
D. Hasil Analisa Saringan

1) Penggabungan Fraksi Agregat Normal: Dari hasil penggabungan agregat normal sesuai spesifikasi dibuat dengan metode Trial Error atau dilakukan dengan cara coba-coba. Metode Trial and Error dipakai apabila proporsi campuran pada agregat yang lebih mendekati nilai tengah sesuai dengan spesifikasi. Nilai tengah pada penggabungan fraksi agregat didapat dari batas atas dan batas bawah sesuai dengan spesifikasi gradasi agregat tersebut. Dari nilai tersebut didapat proporsi campuran agregat yaitu, CA 13%, MA 0%, Abu batu 71%, Pasir 14% dan Filler 2%. Dari hasil penggabungan agregat normal tersebut digunakan sebagai campuran aspal HRS-WC karena memenuhi spesifikasi.

Untuk nilai proporsi campuran agregat gabungan dan grafik gradasi agregat gabungan dapat dilihat pada tabel 13 dan gambar 2 berikut.

Tabel 13. Proporsi Campuran Agregat Gabungan

Nomor Saringan	Kombinasi (%)	Gabu ng an				Spesifikasi Batas Bawah Atas		
		13%	71%	14%	2%			
19	3/4"	13,00	71,00	14,00	2,00	100,00	100	100
12,5	1/2"	7,76	71,00	14,00	2,00	94,76	90	100
9,5	3/8"	2,39	71,00	14,00	2,00	89,39	75	85
2,36	No. 8	0,13	39,08	13,90	2,00	55,12	50	72
0,6	No. 30	0,07	21,40	13,70	2,00	37,17	35	60
0,075	No.200	0,02	4,18	0,34	1,47	6,01	6	10
	Pan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		



Gambar 2. Grafik Gradasi Agregat

Dari grafik diatas dengan proporsi agregat halus lebih banyak maka didapatkan hasil Agregat Gabungan yang tidak memenuhi amplop gradasi untuk lapis HRS-WC

2) *Perhitungan Perkiraan Kadar Aspal Awal Rencana*: Perkiraan awal kadar aspal optimum untuk campuran aspal terlebih dulu menghitung dengan persamaan 1 dan data masukkan berasal dari tabel 13.

Keterangan :

- i. Nilai CA = Agregat Kasar tertahan saringan nomor 8 yaitu 100 % - % gabungan lolos saringan nomor 8
CA= 100% - 55,12% = 44,88%
- ii. FA = Agregat Halus lolos saringan nomor 8 yaitu % lolos saringan nomor 8 - % gabungan lolos saringan nomor 200
FA = 44,88% - 6,01% = 38,87 %
- iii. FF = Bahan Pengisi (*Filler*) hasil % lolos saringan nomor 200
FF = 6,01 %
- iv. Konstanta = 2 untuk lapis Lataston
Sehingga diperoleh perkiraan awal kadar aspal optimum sebagai berikut.
Pb = (0,035 × 44,88%) + (0,045 × 38,87%) + (0,18 × 6,01%) + 2
= 6,402% ≈ 6,5 %

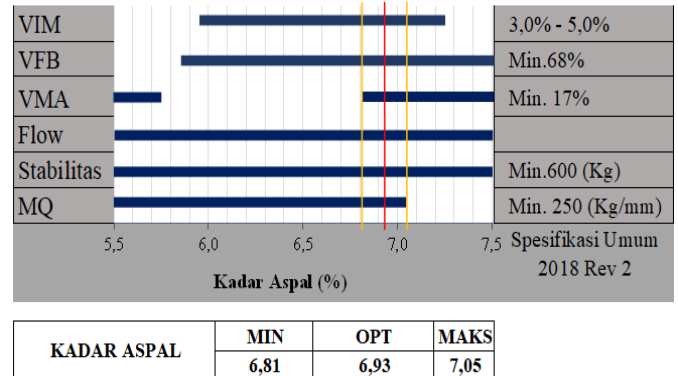
Dengan variasi kadar aspal 5,5%; 6%; 6,5%; 7%; 7,5% dan jumlah bahan 1 benda uji *marshall* (agregat + aspal) = 1200 gram.

E. *Perhitungan Marshall*

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan variasi kadar aspal, selanjutnya membuat benda uji. Perhitungan *Marshall* dapat dilihat pada tabel 14.

F. *Penentuan Besaran Nilai Kadar Aspal Optimum*

Penentuan besaran nilai kadar aspal optimum seperti yang disajikan pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik Kadar Aspal Optimum

Untuk mendapatkan kadar aspal optimum, dilakukan perhitungan berdasarkan gambar 3 sebagai berikut.

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{6,81 \% + 7,05 \%}{2} = 6,93 \% \approx 6,90\%$$

Perhitungan Kadar Aspal Efektif (Q)

$$Q = \text{Kadar Aspal Optimum} - \left(\frac{\text{absorpsi aspal} (100 - \text{Kadar Aspal Optimum})}{100} \right)$$

$$Q = 6,90 - \left(\frac{0,75(100 - 6,90)}{100} \right) = 6,20$$

Tabel 9. Perhitungan Marshall

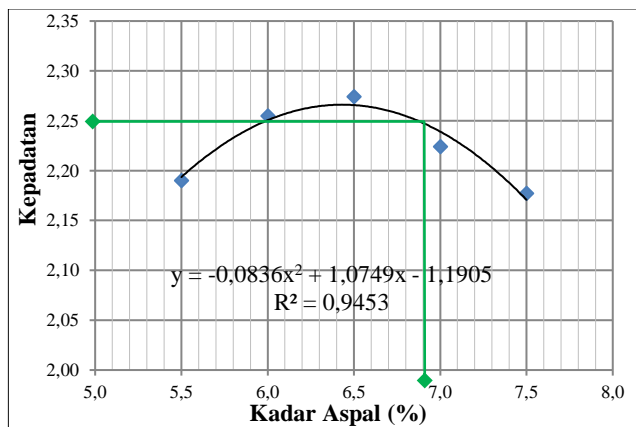
NO	Proporsi Campuran					Kadar Aspal	BJ Bulk Total Agregat	BJ Efektif Total Agregat	BJ Maks Campuran	BERAT(gram)			Isi benda uji	Bj Bulk Campuran	Rongga udara (%)	STABILITAS(kg)		Kelelahan Plastis/ Flow (mm)	Hasil Bagi Marshall (Kg/mm)	VMA (%)	VFB (%)	(Surface Area) (m ² /kg)	Penyerapan Aspal % Berat Campuran	Tebal Lapisan Aspal Film
	a	b	c	d	e					Di Udara	Delan Air	SSD				Data Lab Baca	di Sesaikan							
						A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	13	0	71	14	2	5.5	2,530	2,578	2,380	1178.1	643.2	1183.1	539.9	2,182	8,330	74	807,95	2,8	288,55	18,50	54,97			
2										1177,3	645,2	1180,8	535,6	2,198	7,657	63	710,04	2,6	273,09	17,90	57,22	4,69	4,7809	10,422
Rata-Rata														2,190	7,994	68,500	758,991	2,700	280,821	18,199	56,096			
4	13	0	71	14	2	6.0	2,530	2,578	2,364	1175,4	667,7	1186,4	518,7	2,266	4,137	79	927,46	3,0	309,15	15,81	73,83	4,65	5,2847	11,676
5										1176,5	663,3	1187,7	524,4	2,244	5,091	74	834,01	3,0	278,00	16,65	69,42			
Rata-Rata														2,255	4,614	76,500	880,735	3,000	293,578	16,228	71,625			
7	13	0	71	14	2	6.5	2,530	2,578	2,348	1191,5	667,7	1193,5	525,8	2,266	3,472	82	924,17	3,2	288,80	16,26	78,65	4,65	5,7886	12,858
8										1189,6	669,8	1191,1	521,3	2,282	2,794	81	950,94	3,0	316,98	15,67	82,17			
Rata-Rata														2,274	3,133	81,500	937,556	3,100	302,892	15,963	80,409			
10	13	0	71	14	2	7.0	2,530	2,578	2,332	1197	659,9	1199,3	539,4	2,219	4,820	80	873,46	3,2	272,96	18,43	73,85	4,65	6,2924	14,054
11										1189,6	657,4	1191,2	533,8	2,229	4,416	74	834,01	3,1	269,04	18,08	75,58			
Rata-Rata														2,224	4,618	77,000	853,733	3,150	270,995	18,257	74,715			
13	13	0	71	14	2	7.5	2,530	2,578	2,316	1181,9	643,2	1183,6	540,4	2,187	5,553	57	622,34	4,2	148,18	20,04	72,29	4,65	6,7962	15,262
14										1181,0	638,7	1183,7	545,0	2,167	6,421	66	720,60	4,0	180,15	20,78	69,09			
Rata-Rata														2,177	5,987	61,500	671,469	4,100	164,163	20,408	70,693			

G. Grafik Marshall Test

Hasil perhitungan data Hubungan Kadar Aspal dengan sifat-sifat campuran pada Lataston sebagaimana yang terlihat pada point 1 sampai 7 berikut.

1) Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Kepadatan:

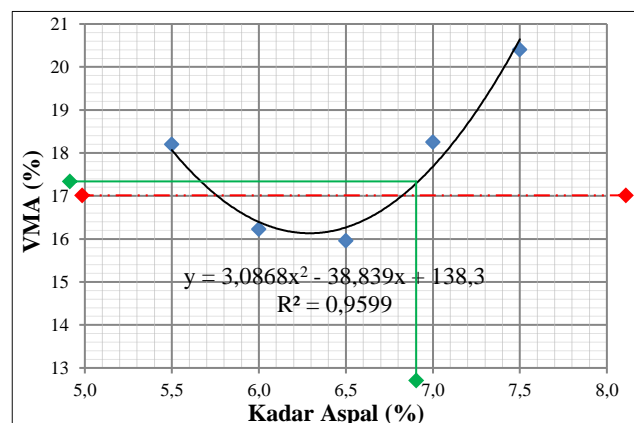
Hubungan antara kadar aspal dengan besarnya nilai kepadatan, seperti yang tersaji pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan

Pada gambar 4 diatas ditunjukkan bahwa pada KAO 6,90% diperoleh nilai Kepadatan sebesar 2,250 gr/cm³ dengan interpretasi koefisien korelasi dengan nilai Y = 2,250 dan R² = 0,945, hasil tersebut menunjukkan hubungan yang sangat kuat. Kepadatan berpengaruh pada rongga udara (VIM) dan rongga diantara mineral agregat (VMA). Kepadatan yang tinggi akan mengakibatkan rongga udara dan rongga mineral agregat akan berkurang begitu juga sebaliknya.

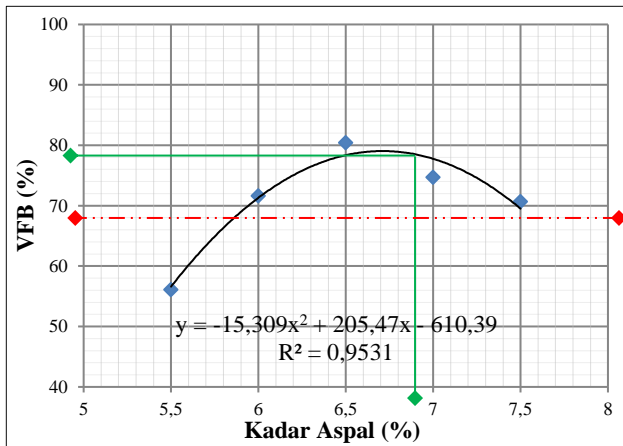
2) Hubungan Kadar Aspal dengan nilai VMA: Hubungan antara kadar aspal dengan besarnya nilai rongga dalam agregat (VMA) seperti yang tersaji pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

Gambar 5 tersebut menunjukkan titik puncak grafik memotong garis batas minimum yang disyaratkan yaitu 17,00%, dengan nilai KAO sebesar 6,90% sehingga diperoleh nilai VMA sebesar 17,325% jadi hasil tersebut telah memenuhi spesifikasi. Campuran aspal dimana kadar aspal disebelah kanan titik puncak pada grafik hubungan kadar aspal dengan VMA ada kecenderungan terjadi kelelahan plastis. Sehingga pada masa pelayanan lalu lintas selama umur rencana akan terjadi alur plastis. Interpretasi Koefisien Korelasi dengan nilai Y = 17,325 dan R² = 0,96, hasil tersebut menunjukkan hubungan yang sangat kuat.

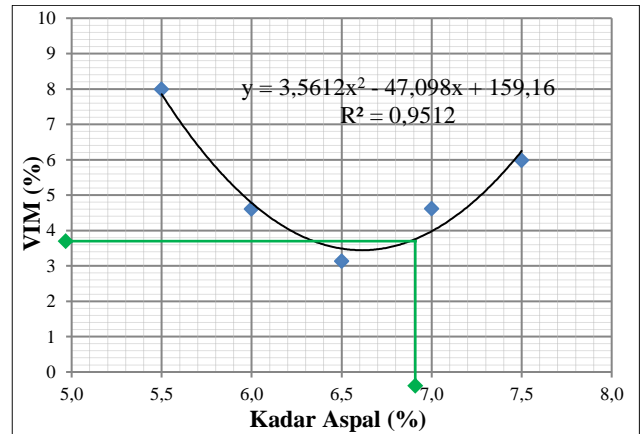
3) *Hubungan Kadar Aspal dengan nilai VFB:* Grafik hubungan antara kadar aspal dengan besarnya nilai rongga terisi aspal (VFB) seperti yang tersaji pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Hubungan Kadar Aspal dengan VFB

Pada gambar 6 tersebut menunjukkan dengan nilai KAO sebesar 6,90% diperoleh nilai rongga terisi aspal (VFB) sebesar 78,421% dimana nilai VFB yang disyaratkan dalam spesifikasi umum untuk spesifikasi lastaston adalah minimal 68%. Interpretasi koefisien korelasi dengan nilai $Y = 78,421$ dan $R^2 = 0,953$ hasil tersebut menunjukkan hubungan yang sangat kuat. Nilai VFB berpengaruh terhadap kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Jika VFB menunjukkan nilai yang semakin naik/semakin tinggi akan mengakibatkan rongga dalam campuran akan semakin banyak yang terisi dengan aspal yang berakibat nilai kekedapan campuran terhadap aspal juga tinggi, namun efek negatifnya adalah jika nilai VFB terlalu tinggi maka akan menyebabkan *bleeding*.

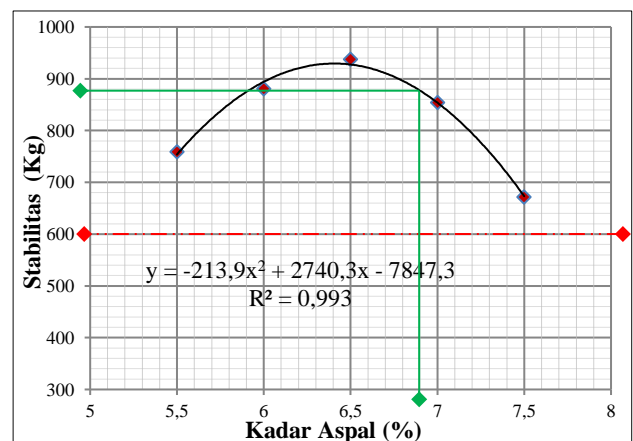
4) *Hubungan Kadar Aspal dengan nilai VIM:* Hubungan antara kadar aspal dengan besarnya nilai rongga dalam campuran (VIM) seperti yang tersaji pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

Dari gambar 7 diatas dapat dilihat bahwa pada KAO 6,90% diperoleh nilai hasil rongga dalam campuran (VIM) sebesar 3,758% dimana nilai VIM yang disyaratkan adalah 3,0% - 5,0%. Interpretasi koefisien korelasi dengan nilai $Y = 3,758$ dan $R^2 = 0,951$, dimana hasil tersebut menunjukkan hubungan yang sangat kuat. Nilai VIM berhubungan dengan nilai stabilitas, akan mempengaruhi keawetan lapisan perkerasan jalan dimana semakin tinggi nilai VIM yang diperoleh akan berpengaruh pada berapa besar rongga dalam campuran aspal tersebut. Grafik tersebut menunjukkan semakin tinggi kadar aspal maka semakin rendah VIM yang bisa menyebabkan ketidakstabilan karena adanya pelelehan plastis.

5) *Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas:* Hasil pengujian marshall test dengan KAO 6,90% dapat dilihat pada gambar 8 berikut.

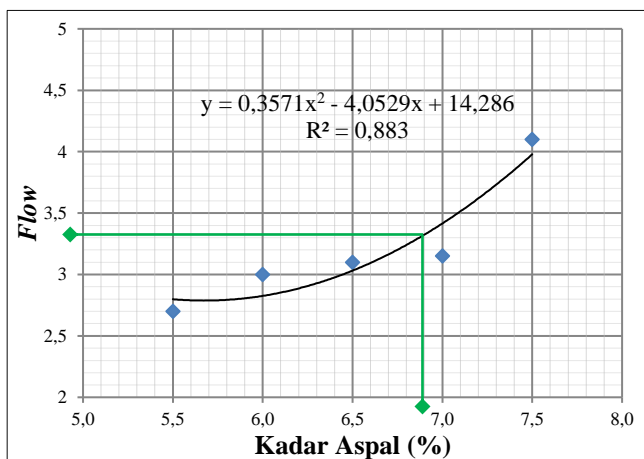


Gambar 8. Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Grafik diatas menunjukkan nilai stabilitas pada KAO 6,90% adalah sebesar 876,991 kg dimana nilai stabilitas yang disyaratkan adalah minimal 600 kg,

sehingga nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi. Interpretasi Koefisien Korelasi dengan nilai $Y = 876,991$ kg dan $R^2 = 0,993$, yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat. Hal yang mempengaruhi besarnya angka stabilitas dipengaruhi oleh tekstur permukaan, bentuk, kualitas, dan gradasi agregat, serta besarnya kadar aspal dalam campuran dan penguncian yang terjadi antar agregat. Jika stabilitas yang diperoleh nilainya kurang dari 600 kg akan mengakibatkan terjadinya *rutting* pada perkerasan atau turunnya perkerasan ke arah memanjang pada lintasan roda kendaraan yang diakibatkan lembeknya perkerasan yang dipasang sehingga tidak mampu mendukung besarnya beban lalu lintas. Hal sebaliknya yang akan terjadi adalah perkerasan menjadi retak karena sifat perkerasan menjadi kaku yang diakibatkan nilai stabilitas yang kurang dari 600 Kg.

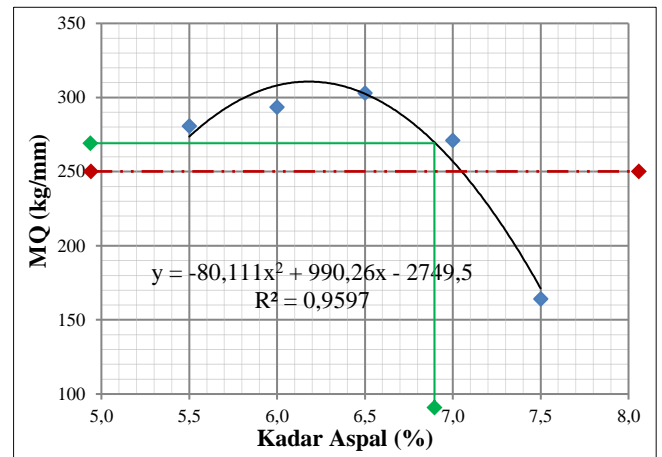
6) Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Flow: Hubungan kadar aspal dengan besarnya nilai kelelahan (*flow*) seperti yang tersaji pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelahan (*Flow*)

Pada grafik di atas merupakan hasil dari perhitungan *flow* pada KAO 6,90% sebesar 3,323 mm. Dengan Interpretasi Koefisien Korelasi dimana nilai $Y = 3,323$ dan $R^2 = 0,883$, hasil tersebut menunjukkan hubungan yang sangat kuat. Jika kerapatan campuran yang digunakan baik, kadar aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh pada penurunan nilai *flow* itu sendiri. Nilai kadar aspal yang tinggi yang ditunjukkan pada grafik, mengakibatkan nilai *flow* yang juga tinggi.

7) Hubungan Kadar Aspal dengan MQ: Grafik hubungan kadar aspal dengan Marshall Quotien (MQ) seperti yang tersaji pada gambar 10 berikut.



Gambar 10. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Marshall Quotien (MQ)

Pada grafik diatas merupakan hasil MQ dimana nilai tersebut dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan *flow*, hasil pada KAO 6,90% sebesar 269,209 kg/mm dimana nilai MQ yang disyaratkan dalam spesifikasi umum untuk spesifikasi lastaston adalah minimal 250 kg/mm. Interpretasi Koefisien Korelasi dengan nilai $Y = 268,209$ dan $R^2 = 0,96$ hasil tersebut menunjukkan hubungan yang sangat kuat.

H. Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian *Marshall Test* dengan KAO sebesar 6,90% sebagaimana yang terlihat pada gambar 4 hingga gambar 10 dirangkum pada tabel 15 berikut.

Tabel 15. Hasil Pengujian Marshall Test dengan KAO 6,90%

Sifat-Sifat Campuran	Lapis HRS - WC		
	Min.	Hasil	Spesifikasi Ket
Kadar Aspal Efektif (%)	Min. 6,20	5,9	Memenuhi
Jumlah Tumbukan Perbidang	-	50	50
Rongga dalam Campuran (%) (VIM)	Min.	3,758	3
	Maks.		5
Rongga dalam Agregat (%) (VMA)	Min.	17,325	17
Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)	Min.	78,421	68
Pelelehan (mm)	-	3,323	-
Stabilitas Marshall (Kg)	Min.	876,991	600
Marshall Quotient (Kg/mm)	Min.	269,209	250

Tabel 15 merupakan hasil perhitungan *marshall test* dengan proporsi agregat campuran berupa agregat kasar (CA) sebesar 13%, agregat medium (MA)

sebesar 0%, agregat halus (FA) sebesar 71%, pasir (S) sebesar 14% dan *filler* (FF) sebesar 2%, sehingga diperoleh hasil kadar aspal optimum 6,90%, dimana dengan nilai KAO tersebut diperoleh nilai kadar aspal efektif sebesar 6,20% dengan batas minimal 5,9%; VIM sebesar 3,758% dengan batas minimum adalah 3% dan batas maksimum adalah 5%; VMA sebesar 17,325% dengan batasan 17%; VFB sebesar 78,421% dengan batas minimum 68%, Stabilitas Marshall 876,991 Kg dengan batas minimum 600 Kg dan *Marshall Quotient* sebesar 269,209 Kg/mm dengan batas minimum 250 Kg/mm.

IV. KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas, pengaruh limbah abu batu bara sebagai *filler* pada campuran aspal Lataston Lapis Aus (HRS-WC) dengan kadar aspal optimum sebesar 6,90% pada proporsi agregat tertentu diperoleh nilai kadar aspal efektif adalah 6,20%; VIM sebesar 3,758%; VMA sebesar 17,325%; VFB sebesar 78,421%; Stabilitas Marshall 876,991 Kg dan *Marshall Quotient* sebesar 269,209 Kg/mm dimana nilai tersebut telah memenuhi syarat pada Spesifikasi Umum Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh teknisi dan PLP Laboratorium Struktur, Uji Bahan dan Batuan, Politeknik Negeri Banjarmasin, terutama kepada saudari Adelia Pebriyanti, A.Md.T yang berkontribusi besar dalam pengambilan data utama penunjang artikel ini.

REFERENSI

- Afrilla, Vira. Alfian Malik, Mardani Sembayang. 2021. *Kajian Pemanfaatan Limbah FABA (Fly Ash dan Bottom Ash) pada Konstruksi Lapis Permukaan Jalan (Top Layer)*. Jom FTEKNIK Volume 8 Edisi 1 – 1 Januari sampai Juni 2021. (<https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/29486/28402>. Diakses 01 Mei 2023)
- Arifudin, M. Y. 2022. *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash pada Campuran Aspal Beton AC-WC Pen 60/70 terhadap Parameter Marshall*. Skripsi-Fakultas Teknik Jurusan S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.
- Badan Standardisasi Nasional. 2003. *RSNI M-01-2003: Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*. Standar Nasional Indonesia. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 2417: 2008 tentang Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 1970: 2008 tentang Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 1969: 2008 tentang Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 2432:2011 tentang Cara Uji Daktilitas Aspal*. Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 2343:2011 tentang Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)*. Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 2441:2011 tentang Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 2456:2011 tentang Cara Uji Penetrasi Aspal*. Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *SNI 2417:2008 tentang Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- Cahyono, Tri. Herri Purwanto, Agus Setiobudi, M. Firdaus. 2021. *Pengaruh Penambahan Bubuk Batu Bara sebagai Filler pada Campuran Aspal AC WC*. Jurnal Deformasi Volume 6 Nomor 2 – Desember 2021. (<https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/deformasi/article/view/6317>, diakses tanggal 15 April 2023).
- Fuady, B.H., Zainuddin Muchtar, S. R. Hartini, Y. Alfarizi, Y. Atrasina. 2021. *Penggunaan Limbah Batu Bata dan Batu Bara sebagai Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course*. Seminar Nasional AVoER XIII 2021 – Palembang 27-28 Oktober 2021. Fakultas Teknik Universitas

- Sriwijaya-Palembang.
(<http://ejournal.ft.unsri.ac.id/index.php/avoer/article/view/908>, diakses tanggal 12 April 2023)
- Hardiyatmo, Hary Christadi. 2019. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah Perkerasan Aspal, Perkerasan Beton, Sistem Cakar Ayam Modifikasi, Sistem Pelat Terpadu (Edisi ke-3)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hendarsin, Shirley L. 2000. *Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya*. Jurusan Teknik Sipil – Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Diklat Penyiapan Bahan dan Formula Rancangan (Design Mix Formula)*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Permukiman dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2020. *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2*. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2021. *Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) Hasil Pembakaran Batubara Wajib Dikelola*.
https://www.menlhk.go.id/site/single_post/3707/fly-ash-dan-bottom-ash-faba-hasil-pembakaran-batubara-wajib-dikelola. Diakses 30 Maret 2022.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2020. *Spesifikasi Khusus SKh-1.5.15: Timbunan Pilihan dan lapis Fondasi Menggunakan Abu Batu bara/ Fly Ash dan Bottom Ash (FABA)*. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Purnomo, Dwi. Supian, Desriantomy. 2017. *Pemanfaatan Fly Ash (Limbah Batu Bara) sebagai Tambahan Filler pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*. Jurnal Proteksi Volume 3 Nomor 2 – Juli 2017. ([PROTEKSI 3\(2\) Jul17 p198-p205 \(sscrd\).pdf - Google Drive](#), diakses tanggal 8 April 2023)
- Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Surat, Rusdi H.A, Iphan F. Radam, Yasruddin.2014. *Study of Sand River as Fine Aggregate in Asphaltic Concrete Wearing Course (AC-WC)*. Jurnal Teknologi Berkelanjutan (Sustainable Technology Journal) Vol. 3 No. 2 (2014).

(<https://jtb.ulm.ac.id/index.php/JTB/article/download/39/32>)

History of article:

Received: 31 Oktober 2022, Revised: 16 Juni 2023, Published: 30 Juni 2023