

PENAMBAHAN *FLY ASH* BATU BARA PLTU SEBAGAI *FILLER* ASPAL AC WC

Delli Noviarti Rachman¹, Susi Riwayati², Dona Rodeeflyn Sirait³, Muhammad Arfan^{4,*}

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil Universitas Tamansiswa Palembang
Jl. Tamansiswa No 261 Palembang

⁴ Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang
Jl. Jendral A. Yani 13 Ulu Palembang

*E-mail : m_4rf4n@yahoo.com

Abstract

The increasing population growth, the more vehicle users. This makes the government also have to improve transportation services. One way is to improve the quality of asphalt in order to meet its service life. But the problem that is happening at this time is the difficulty of getting rock ash filler where in the rules it is stated that fine aggregate (fly ash) must pass sieve no. 200 under 10%. This research mixed fly ash as much as 1%, 2%, and 3%. The results of the study are the addition of fly ash from burning coal ash as a filler for combustion residue from the Tanjung Enim PLTU for Asphalt Concrete Wearing Course (AC WC) asphalt mixture, the best results were obtained on a 2% mixture with the following values: Stability value of 1240, 253 kg, VIM (Void In Mix) Value of 4.233%, VMA (Void in Mineral Aggregate) Value of 16.139%, VFB (Void Filled Bitumen) Value of 73.782%, Flow (melting) Value of 3.63 mm and Marshall Quotient obtained at 329.280 kg/mm.

Keywords : Asphalt, Filler, Fly Ash

1. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya jumlah kendaraan, maka semakin mendorong pemerintah untuk peningkatan pelayanan jalan. Sangat diperlukan perkerasan jalan dengan kualitas tinggi untuk mempertahankan usia kelayakan jalan dan menghindari kerusakan jalan yang lebih cepat dari umur rencana.

Permasalahannya pada saat ini adalah sulit untuk mendapatkan *filler* abu batu (*fly ash*). Menurut aturan Spesifikasi Teknis Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol (2020), agregat halus (*fly ash*) harus lolos saringan no. 200 maksimal sebanyak 10%. Apabila tidak sesuai dengan ketentuan tersebut maka akan mengakibatkan campuran gabungan agregat untuk produk aspal AC WC tidak terpenuhi, karena material *filler* yang lolos pada saringan no. 200 dengan hasil dibawah 4%. Sedangkan sesuai ketentuan untuk material agregat halus lolos no. 200 harus memiliki rentang antara 4-9%.

Dilihat dari identifikasi masalah di atas, peneliti mencari solusi bahan tambah *filler* yang bisa dipakai. Beberapa penelitian terdahulu telah memanfaatkan *fly ash* yang merupakan sisa dari pembakaran batu bara yang berasal dari pabrik maupun industri.

PT. Bukit Asam merupakan pemasok batubara untuk PLTU yang berada di Tanjung Enim. Sekitar 3 juta ton setiap tahun PT. BA menyuplay kepada PLTU tersebut. Sisa dari pembakaran batu bara PLTU tersebut yang digunakan pada penelitian ini.

Penelitian ini ingin mengembangkan mengenai pemanfaatan *fly ash* sisa pembakaran batu bara yang selama ini terbuang agar dapat menjadi bahan yang bermanfaat dengan harga yang terjangkau.

Penelitian Qurny, Puspito, and Tinumbia (2022) dengan judul Penambahan Bahan Pengisi (*Filler*) *Fly Ash* Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus, Penelitian ini menggunakan *filler* sebanyak

1%, 1,5%, dan 2% dari campuran sesuai dengan yang telah ditentukan oleh Bina Marga. *Fly Ash* ini didapatkan dari hasil pembakaran batu bara (*fly ash*) pada PLTU Suralaya, Merak – Banten. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa karakteristik nilai Marshall pada KAO seluruhnya masuk sesuai dengan ketentuan Bina Marga. Qurny et al. (2022) menyebutkan bahwa penggunaan *fly ash* tersebut dapat sebagai bahan pengisi untuk campuran laston lapis aus.

Penelitian Arifin, Sadillah, and Wicaksono (2018) dengan judul Pengaruh Penggunaan Abu Terbang Batu Bara sebagai Bahan Pengisi terhadap Modulus *Resilien* Beton Aspal Lapis Aus membuktikan bahwa penggunaan abu terbang dapat meningkatkan modulus *resilien* beton aspal. Penelitian ini menggunakan alat UMATTA dan menunjukkan hasil bahwa pengaruh abu terbang dapat menahan temperatur di lapangan sehingga dapat membuat perkerasan menjadi lebih kaku dan lebih tahan terhadap deformasi.

Penelitian Sugeha, Eti, dan Rudi (2018) dengan judul Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara sebagai *Filler* pada campuran Laston meneliti 15 buah benda uji dengan kadar aspal rentang 5-7 % di mana benda uji direndam dengan suhu air 60⁰ C selama 30-40 menit. Tujuan perendaman ini adalah agar mendapatkan nilai kadar aspal optimum. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa penggunaan *filler* abu batu bara ternyata tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan campuran. Bahkan kadar aspal optimum yang didapat dengan menggunakan *filler* abu batu bara memiliki nilai yang lebih rendah sebanyak 6,55% dari pada kadar aspal yang menggunakan *filler* yang umum digunakan. Penelitian Jaya et al. (2021) dengan judul Pemanfaatan *Fly Ash* Batubara Kelas C sebagai *Filler* untuk Meningkatkan Kekuatan Aspal Beton Poros. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan *filler fly ash* dapat meningkatkan kekuatan, *flow* dan fleksibilitas dari campuran aspal beton poros. Namun pemanfaatan *filler* abu batu bara menurunkan nilai VIM, permeabilitas, dan menurunkan nilai fungsi kinerja resapan aspal beton poros.

Penelitian yang dilaksanakan oleh Permaisuri (2020) dengan Judul Pengaruh Penambahan Semen *Portland* Dan *Filler* Serbuk Batu Bata Pada Laston (AC-BC) Terhadap Karakteristik *Marshall*, menggunakan bahan tambah semen PC sebanyak 2% dan *filler* serbuk bata dengan variasi 5%, 10%, dan 15%. Pengujian yang dilaksanakan adalah pengujian kepadatan, pelelehan, MQ, VFA, VIM, dan VMA. Hasil yang didapatkan adalah semakin tinggi kadar *filler* serbuk batu bata, maka akan meningkat nilai stabilitas, VFA, VIM dan *flow*. Sedangkan nilai MQ dan *density* mengalami penurunan.

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilaksanakan oleh peneliti sebelumnya, maka mengambil untuk menggunakan *fly ash* sebagai *filler* untuk aspal AC-WC.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar pengaruh *penambahan fly ash* batu bara dengan variasi 0%, 1%, 2% dan 3% terhadap nilai stabilitas, VIM, WMA, VFB, Kelelehan, dan nilai MQ pada aspal AC WC?
2. Dari variasi tersebut, berapa persen jumlah *filler* yang bisa masuk dalam spesifikasi yang disyaratkan?

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai stabilitas, VIM, WMA, VFB, Kelelehan, dan nilai MQ dari aspal dengan penambahan *fly ash* sisa pembakaran batu bara variasi 0%, 1%, 2% dan 3% sebagai *filler* pada lapis aspal AC WC.
2. Mengetahui persentase penambahan *fly ash* sisa pembakaran batu bara sebagai *filler* lapis aspal AC WC yang masuk pada nilai karakteristik properti *Marshall Test* untuk spesifikasi Teknis Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol.

Untuk mempersempit batasan penelitian, maka ruang lingkup pada penelitian ini sebagai berikut :

- a) Penelitian ini menghitung Desain *Mix Formula* (DMF) berupa nilai stabilitas, VIM, WMA, VFB, Kelelehan, dan nilai MQ dari aspal AC WC yang ditambahi

- filler Abu Terbang (*Fly Ash*) batu bara PLTU Tanjung Enim.
- b) Material Agregat abu batu, 1-1, 1-2 berasal dari *Quary* PT. Surya Cipta Dipa (SCD) Lampung.
 - c) Aspal curah yang dipakai Merk Shell dengan penetrasi 60-70 dari PT. Karya Mandiri Nusantara Dumai.
 - d) *Filler* tambah dari *Fly Ash* sisa pembakaran abu batu bara PLTU Tanjung Enim.
 - e) Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium AMP PT. Hkaston Musi 2 Palembang Jalan Mayor Jenderal Singadekane Kecamatan Kertapati Kota Palembang.
 - f) Jumlah pembuatan sample pada penelitian ini dengan penambahan *Fly Ash* pada lapis aspal AC WC akan dibuat beberapa variasi 0% dengan 3 sampel, 1% dengan 3 sampel, 2% dengan 3 sampel dan 3% dengan 3 sampel total sample 12 buah sampel.

2. METODOLOGI

Penelitian ini berupa penelitian eksperimental yang dilaksanakan di laboratorium AMP PT. HKaston Unit Produksi Musi 2 Palembang Jalan Mayjend. Singadekane Keramasan Kecamatan Kertapati Kota Palembang. Tahapan penelitian ini adalah pengujian agregat, pengujian aspal, dan pengujian aspal terhadap campuran dengan menggunakan metode Marshall.

Pengujian terhadap agregat kasar terdiri atas pengujian gradasi agregat, pengujian berat jenis berat jenis, pengujian penyerapan dan pengujian keausan. Sedangkan pada agregat halus dan *filler* dilakukan pengujian gradasi, pengujian berat jenis dan pengujian penyerapan. Untuk pengujian aspal meliputi pengujian penetrasi dan pengujian titik lembek aspal.

Penelitian memakai material yang telah disesiakan di AMP PT. Hkaston Unit Produksi Musi 2 Palembang, di mana :

1. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat alami yang dipecahkan dengan alat *Stone Crusher*

- menjadi ukuran 10-20 mm dan 5-10 mm dari PT. Surya Cipta Dipa Lampung.
2. Agregat halus abu batu ukuran 0-5 mm yang digunakan pada penelitian ini berupa abu batu yang berasal dari *Stone Crusher* PT. Surya Cipta Dipa Lampung.
3. *Filler* penelitian ini berupa abu terbang (*Fly Ash*) dari PLTU Tanjung Enim.
4. Aspal curah (*bitumen*) Merk *Shell* Penetrasi 60/70 dari PT. Karya Mandiri Nusantara Dumai.

Peralatan penelitian pada pemeriksaan agregat antara lain:

- a. Mesin *Los Angeles* untuk mengukur abrasi.
- b. Saringan standard.
- c. Alat uji benda jenis (pikometer, timbangan, pemanas).
- d. Alat uji penetrasi dan titik lembek.
- e. Kompor
- f. Wajan
- g. Pengukur Temperatur

Alat uji karakteristik aspal *Marshall Test* berupa :

- a. Set alat tekan *Marshall*.
- b. Cincin “penguji
- c. Alat“ cetak benda uji “
- d. Penumbuk manual
- e. Ejector“
- f. Bak“ perendam
- g. Alat – alat pelengkap lain.

Tahapan Penelitian

1. Persiapan material penyusun

Tahap persiapan ini adalah melakukan pengujian agregat kasar, agregat medium, halus, sedangkan aspal yang diuji adalah aspal pen 60/70. Penguji agregat yang dilaksanakan yakni pengujian berat jenis dan penyerapan, pengujian abrasi, pengujian agregat harus dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butiran (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan, pengujian *sand equivalent*, pengujian lolos saringan #200.

Pengujian aspal dilakukan dengan pengujian penetrasi dan pengujian *softening point* atau pengujian titik lembek.

Agregat dibersihkan dan dipanaskan dalam oven selama 24 jam dengan suhu stabil di 110⁰ C. Kemujian benda uji dicetak dalam cetakan khusus.

2. Tahap Pembuatan Benda Uji

Membuat proporsi agregat dengan berbagai ukuran sesuai dengan kebutuhan untuk campuran aspal AC WC, yang harus sesuai proporsi ini ditentukan secara analitis dimana proporsi agregat tersebut dipilih dari gradasi yang berdasarkan ketentuan spek jalan tol Indonesia. prinsip kerja metode analitis ini adalah dengan menentukan gradasi agregat yang dipilih kemudian menghitung jumlah butiran yang lolos dan tertahan sesuai spesifikasi yang telah sehingga didapat komposisi agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

Pada tahap ini peneliti akan membuat sample pengujian dimana sample akan dibuat penambahan abu terbang (*fly ash*) sisa pembakaran abu batu bara PLTU Tanjung Enim Sebagai *Filler* pada lapis aspal AC WC akan dibuat beberapa variasi 0% dengan 3 sample, 1% dengan 3 sample, 2% dengan 3 sample dan 3% dengan 3 sample total sample 12 buah sample.

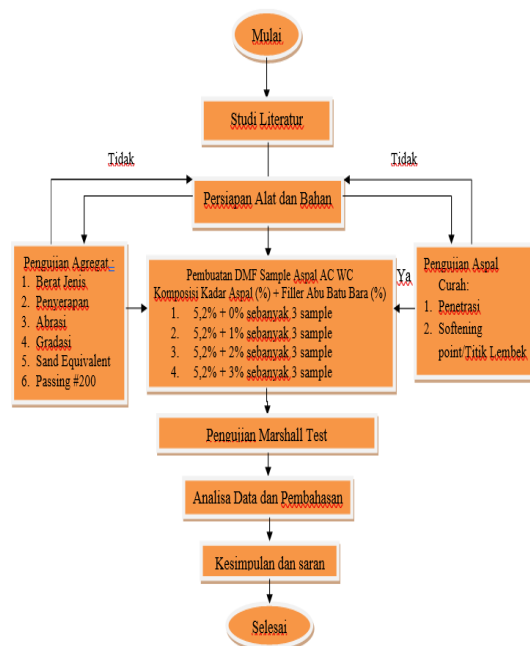
Agregat lalu dipanaskan di suhu 140-150⁰C dan lalu masukan aspal curah dan diaduk sampai rata sampai material agregat terselamatkan aspal menjadi hitam semuanya. Setelah hitam semua dan suhu telah mencapai di suhu 150⁰C, maka sample aspal AC WC dimasukan kedalam cetakan yang berukuran 6 Inch kemudian lapis di atas sample dengan kertas agar tidak lengket. Lalu lakukan pemadatan dengan menusuk campuran aspalnya. Kemudian lakukan penumbukan sebanyak 75 x 2 kali bolak balik tumbukan agar sample AC WC padat sempurna.

3. Tahap Pengujian Benda Uji

Benda uji yang telah dipadatkan dikeluarkan dari cetakan dengan dongkrak hidrolik dengan meletakkan pelat pengeluar benda uji pada bagian atas cetakan dan lepaskan pelat dasar cetakan. Keluarkan benda uji dengan hati - hati lalu benda uji timbang kering terlebih dahulu, setelah ditimbang kering rendam benda uji

selama kurang lebih 1 hari (24jam). Benda uji yang sudah direndam selama 24 jam kemudian sample di timbang ssd dan timbang dalam air. Setelah ditimbang maka lalu dilanjutkan di rendam di *waterbath* 60⁰C selama 30 menit. Setelah direndam di *waterbath* 60⁰C selama 30 menit sample siap untuk di uji *marshall test*.

Untuk lebih singkatnya dapat dilihat pada gambar diagram alir penelitian di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini untuk agregat kasar terdiri dari agregat yang berukuran 10-20mm dan 5-10mm sedangkan untuk agregat halus abu batu dengan ukuran 0-5mm dimana material tersebut berasal dari Stone Crusher PT. Surya Cipta Dipa Lampung dimana material tersebut ada di AMP PT. HKaston Unit Produksi Musi 2 Palembang Jalan Mayjend. Singadekane Musi 2 Keramasan Kecamatan Kertapati Kota Palembang.

Hasil Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus

Tabel 1. Hasil Pengujian

No	Pengujian	Hasil Penelitian	Spekifikasi	Satuan
1.	Abrasi Agregat			%
	a. 100 putaran	3,70	Maks. 6	%
	b. 500 putaran	17,96	Maks. 30	%
2.	Berat Jenis Agg 10-20mm			
	a. Bj Bulk	2,770	Min. 2,5	Gr/cc
	b. Bj SSD	2,783	Min. 2,5	Gr/cc
	c. Bj Apparent	2,806	Min. 2,5	Gr/cc
	d. Penyerapan	0,467	Maks. 3	%
3.	Berat Jenis Agg 5-10mm			
	a. Bj Bulk	2,756	Min. 2,5	Gr/cc
	b. Bj SSD	2,775	Min. 2,5	Gr/cc
	c. Bj Apparent	2,810	Min. 2,5	Gr/cc
	d. Penyerapan	0,689	Maks. 3	%
4.	Berat Jenis Agg 0-5mm			
	a. Bj Bulk	2,566	Min. 2,5	Gr/cc
	b. Bj SSD	2,592	Min. 2,5	Gr/cc
	c. Bj Apparent	2,635	Min. 2,5	Gr/cc
	d. Penyerapan	1,020	Maks. 3	%
5.	Lolos Saringan No.200 Agg 10-20mm	0,31	Maks. 1	%
6.	Lolos Saringan No.200 Agg 5-10mm	0,65	Maks. 1	%
7.	Lolos Saringan No.200 Abu batu 0-5mm	8,76	Maks. 10	%
8.	Sand Equivalent Abu batu	67,05	Min. 50	%
9.	Analisa Saringan Agg 10-20mm	Terlampir	-	
10.	Analisa Saringan Agg 5-10mm	Terlampir	-	
11.	Analisa Saringan Agg 0-5mm	Terlampir	-	



Gambar 2. Pelaksanaan Pengujian Agregat Halus dan Kasar

Hasil Pengujian Aspal Curah (Bitumen)

Aspal curah (*bitumen*) yang digunakan adalah aspal Merk Shell Penetrasi 60/70 di mana aspal curah tersebut *ready stock* di AMP PT. HKaston Unit Produksi Musi 2 Palembang.

Hasil pengujian aspal curah sebagai berikut ini :

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Aspal Shell Pen 60/70

No.	Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Satuan
1	Penetrasi	60-70	62,7	0,1 mm
2	Titik Lembek	48-56	51	°C

Berdasarkan data tabel di atas bahwa hasil pengujian aspal curah *shell pen 60/70* telah memenuhi ketentuan spesifikasi Teknis Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol 2020.

Berdasarkan hasil data ada untuk DMF (*Desain Mix Formula*) pada campuran aspal AC WC Normal dalam penentuan kadar aspal normal (KAO) di AMP PT. HKaston Unit Produksi, kadar aspal optimum (KAO) didapat sebesar 5,45% dengan pemakaian agregat berukuran 10-20mm, 5-10 mm serta pemakaian aspal curah merk *shell 60/70*.

Untuk komposisi gradasi gabungan campuran beraspal lapis AC WC pada penelitian, terdiri dari :

1. Abu batu (Uk 0-5mm) = 40,0%
2. MA (*Medium Aggregate*) (Uk. 5-10mm) = 35,5%
3. CA (*Coarse aggregate*)(Uk. 10-20mm) = 23,0%
4. *Filler* Semen = 1,5%
5. Kadar aspal = 5,45%

Hasil penelitian ini sebagai berikut ini :

a. Stabilitas

AC WC dengan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,45% yang didapat dari hasil pengujian dengan menggunakan variasi penambahan abu sisa pembakaran batu bara sebagai *filler* sebanyak 0%, 1%, 2% dan 3% di mana hasil nilai stabilitas *marshall test* adalah :

Tabel 3. Perbandingan Nilai Stabilitas

Kadar Filler	Stabilitas	Stabilitas tertinggi	Spek	Satuan
0%	1106,573			
1%	1158,560			
2%	1240,253	1373,933	Min 1200	Kg
3%	1373,933			

b. Voids In Mix (VIM)

Nilai VIM yang menggunakan kadar aspal optimum (KAO) di 5,45% yang didapat dari hasil pengujian dengan menggunakan variasi penambahan abu sisa pembakaran

batu bara sebagai *filler* sebanyak 0%, 1%, 2% dan 3% di mana hasil nilai VIM dengan menggunakan *marshall test* adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Perbandingan Nilai VIM

Kadar Filler	VIM	VIM tertinggi	Spek	Satuan
0%	3,526			
1%	3,510			
2%	4,233	5,426	3,0-5,0	%
3%	5,426			

c. Void In Mixture Agregat (VMA)

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, didapatkan nilai VMA yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 5. Perbandingan Nilai VMA

Kadar Filler	VMA	VMA tertinggi	Spek	Satuan
0%	15,521			
1%	15,507			
2%	16,139	17,184	Min 15	%
3%	17,184			

d. Void With Bitumen (VFB)

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, didapatkan nilai VFB sebagai berikut :

Tabel 6. Perbandingan Nilai VFB

Kadar Filler	VFB	VFB tertinggi	Spek	Satuan
0%	77,296			
1%	77,382			
2%	73,782	77,382	Min 65	%
3%	68,541			

e. Kelelahan (Flow)

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium didapatkan nilai flow sebagai berikut :

Tabel 7. Perbandingan Nilai Flow

Kadar Filler	Flow	Flow tertinggi	Spek	Satuan
0%	3,53			
1%	4,60			
2%	3,63	4,60	2,0-4,0	MM
3%	4,13			

f. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah hasil bagi antara stabilitas dan flow. Dimana *Marshall Quotient (MQ)* menunjukkan fleksibilitas campuran yaitu semakin besar *Marshall Quotient (MQ)* pada suatu campuran maka akan semakin kaku (bila kaku cenderung mudah retak) campuran tersebut. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium didapatkan nilai *Marshall Quotient (MQ)* adalah :

Tabel 8. Perbandingan Nilai Marshall Quotient (MQ)

Kadar Filler	Marshall Quotient (MQ)	Marshall Quotient (MQ) tertinggi	Spek	Satuan
0%	313,487			
1%	309,092			
2%	329,280	329,280	Min 250	Kg/mm
3%	319,134			

g. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshal

Di bawah ini bisa dilihat hasil pengujian karakteristik *marshall test* secara keseluruhan pada kuat tekan *marshall Test* dengan penambahan abu sisa pembakaran batu bara sebagai *filler* sisa pembakaran dari PLTU Tanjung Enim pada campuran aspal AC WC sebagai berikut :

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Test

Kadar Filler	Stabilitas (Kg)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Flow (MM)	MQ (Kg/MM)
0%	1106,573	3,526	15,521	77,296	3,53	313,487
1%	1158,560	3,510	15,507	77,382	3,60	309,092
2%	1240,253	4,233	16,139	73,782	3,63	329,280
3%	1373,933	5,426	17,184	68,541	4,13	319,134
Spek	Min 1200	3,0-5,0	Min 15	Min 65	2,0-4,0	Min 250

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penambahan *fly ash* sebagai *filler* sisa pembakaran dari PLTU Tanjung Enim pada campuran aspal *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC WC) adalah :

1. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium di dapatkan nilai stabilitas sebesar 1240,253 kg, Nilai VIM (*Void In Mix*) sebesar 4,233%, Nilai VMA (*Void in Mineral Agregat*) sebesar 16,139%, Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) sebesar 73,782%, Nilai *Flow* (kelelehan) sebesar 3,63 mm dan *Marshall Quotient* diperoleh sebesar 329,280 kg/mm.
2. Hasil pengujiannya nilai presentase optimum dengan penambahan abu sisa pembakaran batu bara sebagai *filler* dari PLTU Tanjung Enim pada campuran aspal AC WC didapat pada campuran 2% yang terbaik dan masuk sesuai dengan spesifikasi Teknis Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol 2020.

Rekomendasi pada penelitian penambahan abu sisa pembakaran batu bara sebagai *filler* dari PLTU Tanjung Enim sebagai berikut ini :

1. Pemakaian kadar aspal optimum (KAO) dalam penelitian ini harus pakai sebesar 5,45%.
2. Pemakaian Aspal curah merk *Shell* Pen 60/70.
3. Pemakaian Abu batu dan Agregat dari Quarry PT. Surya Cipta Dipa Lampung.
4. Penambahan abu sisa pembakaran batu bara sebagai *filler* dari PLTU Tanjung Enim pada campuran aspal lapis *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC WC) disarankan hanya pakai variasi 2% karena nilai-nilai karakteristik *Marshall test*

REFERENSI

Arifin, M. Zainul, M. Sadillah, and Achmad Wicaksono. (2018). Pengaruh Penggunaan Abu Terbang BatuBara Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Modulus Resilien Beton Aspal Lapis

Aus, *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)* 4(1):59–66.

Jaya, Zairipan, Edi Majuar, Fauzi A. Gani, and Gina Putri Yuanda. (2021). Pemanfaatan Fly Ash Batubara Kelas C Sebagai Filler Untuk Meningkatkan Kekuatan Aspal Beton Porus, 5(1):5–10.

Permaisuri, Vidia. (2020). Pengaruh Penambahan Semen Portland Dan Filler Serbuk Batu Bata Pada Laston (AC-BC) Terhadap Karakteristik Marshal.

Qurny, Ahmad Uwwes Al, Imam hagni Puspito, and Nuryani Tinumbia. (2022). Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi (Filler) Fly Ash Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus (*Asphalt Concrete Wearing Course/Ac- Wc*), *Jurnal Artesis* 2(1):87–97.

Sugeha, Alif Lam Ra, sulandari Eti, and Sugiono Suyono Rudi. (2018). Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Laston, *Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang* 5(3):1–11.

AASHTO T 245-97 (ASTM D 1559-76). Resistance Plastic of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. American Society for Testing and Materials.

AASHTO T245-90. Worksheet For A Marshall Mix Design.

Buku Panduan Kuliah Perencanaan Geometrik Jalan Raya.(2005). Semarang: Fakultas Teknik Jurusan Sipil, UNDIP.

Hardiyatmo, HC. (2017). *Kajian Laboratorium Sifat Marshall dan Durabilitas Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Dengan Membandingkan Penggunaan Antara Semen Portland dan Abu Batu Sebagai Filler.* Semarang: Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum dan perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga tentang Spesifikasi Umum untuk Jalan Bebas

Hambatan dan Jalan Tol Agustus 2020.

Saodang, Hamirhan, MSCE. IR. (2005).
Konstruksi Jalan Raya. Bandung:
Nova.

SNI 06- 2489-1991, Metode Pengujian
Campuran Aspal Dengan Alat
Marshall.

Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran
Panas*. Jakarta: Granit.