

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *BOTTOM ASH* SEBAGAI PENGGANTI
AGREGAT HALUS (PASIR) DALAM CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON)
ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN MOTEDE
MARSHALL**

**Antoneta Runesi¹, Mauritus I. R Naikofi, ST., MT², Christiani C. Manubulu, ST., M. Eng³, Stephanus Ola
Demon, ST., MT⁴, Gregorius P. Usboko, ST., MT⁵**

*Jurusan Teknik sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandira Kupang
Jl. San Juan No.1 Penfui Kupang, Nusa Tenggara Timur, 85211
e-mail: anerunesi02@gmail.com*

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah batu bara yaitu *bottom ash* merupakan salah satu inovasi untuk mengurangi penumpukan limbah tersebut. Oleh karena itu penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus (pasir) dalam campuran laston AC-WC adalah salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai parameter marshall (stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFB, Kepadatan) dengan penambahan variasi *bottom ash* sebesar 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30% sebagai pengganti agregat halus (pasir) menggunakan kadar aspal optimum dengan campuran normal yaitu 6.09%. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Dinas Pekerjaan Umum Provinsi NTT. Dari hasil pengujian nilai stabilitas terjadi kenaikan dari variasi 0% hingga 30% mulai dari rentang variasi 0%-15% = 2,49%, 15%-20% = 0,91%, 20%-25% = 0,47%, dan 25%-30% = 2,36%. Untuk presentase kenaikan nilai *flow* mulai dari rentang variasi 0%-15% = 12,15%, 15%-20% = 9,68%, 20%-25% = 9,36%, dan 25%-30% = 13,20%. Kemudian untuk nilai VMA terjadi kenaikan dari 0% sampai 30% mulai dari rentang variasi 0%-15% = 5,36%, 15%-20% = 1,69%, 20%-25% = 0,77%, dan 25%-30% = 0,53%. Kenaikan untuk nilai VIM terjadi kenaikan dari 0% hingga 30% untuk rentang variasi 0%-15% = 20%, 15%-20% = 5,84%, 20%-25% = 2,57%, dan 25%-30% = 1,98%. Selanjutnya presentase kenaikan nilai VFB mulai dari rentang variasi 0-15% = 6,40%, 15%-20% = 1,91%, 20%-25% = 0,91%, dan 25%-30% = 0,70%, dan nilai kepadatan dengan variasi *bottom ash* mengalami penurunan dari variasi 0% hingga 30% dari rentang variasi 0-15% = 6,40%, 15%-20% = 1,91%, 20%-25% = 0,91%, dan 25%-30% = 0,70%. Dari nilai parameter marshall tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan variasi *bottom ash* yang memenuhi nilai parameter marshall hanya pada presentase 15%, sedangkan pada presentase 20%, 25%, dan 30% tidak memenuhi salah satu parameter marshall yaitu VIM dimana nilai VIM melewati batas maksimum untuk campuran laston AC-WC. Hal tersebut disebabkan karena ukuran butiran *bottom ash* lebih halus, seragam dan juga ringan dibandingkan dengan pasir yang digunakan sehingga membuat rongga antar butiran yang besar dan kurangnya *interlocking* antar agregat.

Kata kunci: Laston AC-WC, agregat halus (pasir), *bottom ash*, parameter marshall

ABSTRAK

The use of coal waste, namely bottom ash, is one of the innovations to reduce the accumulation of waste. Therefore, the use of bottom ash instead of fine aggregate (sand) in the laston AC-WC mixture is one way to overcome this problem. The purpose of this study was to determine the value of marshall parameters (stability, flow, VMA, VIM, VFB, Density) with the addition of bottom ash variations of 0%, 15%, 20%, 25%, and 30% as a substitute for fine aggregate (sand) using an optical asphalt content with a normal mixture of 6.09%. The research was carried out at the Testing Laboratory of the NTT Provincial Public Works Office. From the results of the stability value test, there was an increase from 0% to 30% variation ranging from 0%-15% = 2.49%, 15%-20% = 0.91%, 20%-25% = 0.47%, and 25%-30% = 2.36%. The percentage increase in flow value starts from the range of variation 0%-15% = 12.15%, 15%-20% = 9.68%, 20%-25% = 9.36%, and 25%-30% = 13.20%. Then for VMA values, there was an increase from 0% to 30% starting from the range of variation 0%-15% = 5.36%, 15%-20% = 1.69%, 20%-25% = 0.77%, and 25%-30% = 0.53%. The increase in the VIM value increased from 0% to 30% for the range of 0%-15% = 20%, 15%-20% = 5.84%, 20%-25% = 2.57%, and 25%-30% = 1.98%. Furthermore, the percentage of increase in VFB values starting from the variation range of 0-15% = 6.40%, 15%-20% = 1.91%, 20%-25% = 0.91%, and 25%-30% = 0.70%, and the density value with the bottom ash variation decreased from 0% to 30% variation from the variation range of 0-15% = 6.40%, 15%-20% = 1.91%, 20%-25% = 0.91%, and 25%-30% = 0.70%. From the value of the marshall parameter, it can be concluded that the addition of the bottom ash variation that meets the marshall parameter value is only at a percentage of 15%, while at the percentage of 20%, 25%, and 30% does not meet one of the marshall parameters, namely VIM where the VIM value exceeds the maximum limit for the AC-WC laston mixture. This is because the size of the bottom

ash grains is smoother, uniform and also lighter than the sand used, which makes the cavities between the grains large and the lack of interlocking between aggregates.

Keywords: Laston AC-WC, fine aggregate (sand), *bottom ash*, marshall parameters

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan raya di Indonesia saat ini menjadi salah satu pembangunan yang sangat penting dalam menunjang aktivitas masyarakat sehari-hari. Infrastruktur jalan di Indonesia banyak menggunakan jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu-lintas (Sukirman, 1999). Campuran aspal yang banyak digunakan pada perkerasan lentur yaitu campuran aspal panas (*hot mix asphalt*) yang merupakan campuran aspal yang dipanaskan pada suhu tinggi. Umumnya bagian-bagian dari perkerasan lentur tersusun dari tanah dasar (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), lapisan pondasi atas (*base course*), dan lapisan permukaan (*surface course*). Salah satu jenis perkerasan lentur yaitu laston. Laston sendiri terdiri tiga jenis campuran, yaitu AC Lapis Atas (AC-WC), AC Lapis Antara (AC-BC) dan Lapis Pondasi (AC-Base). AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) yaitu lapis permukaan paling atas yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan dan berfungsi sebagai lapisan kedap air untuk melindungi konstruksi dibawahnya. Adapun material yang digunakan dalam campuran AC-WC yaitu agregat kasar, agregat halus, *filler* (bahan pengisi), dan aspal. Salah satu material yang digunakan dalam campuran AC-WC yaitu agregat halus. agregat halus yang sering digunakan yaitu, pasir, namun pada kenyataannya terdapat pula bahan lain yang dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus (pasir) yaitu *bottom ash* (limbah sisa bakaran batu bara).

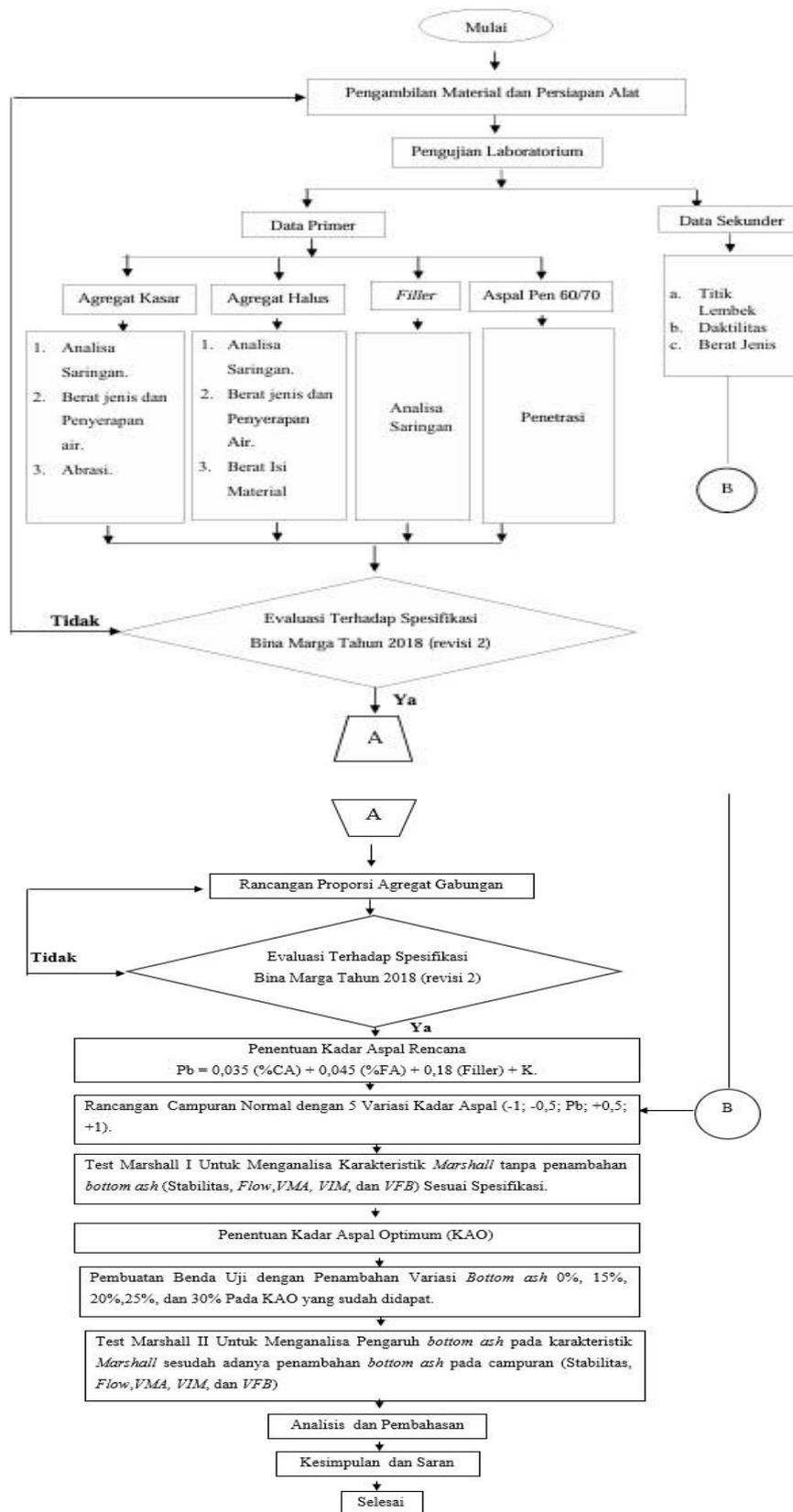
Menurut Indriani Santoso, dkk (2003) *bottom ash* (abu dasar) adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash* (abu terbang), sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan. *Bottom ash* memiliki karakteristik ukuran butiran yang lebih besar dari *fly ash* dan lebih berat. *Bottom ash* yang digunakan sebagai material dalam penelitian ini didapatkan dari hasil pembakaran batu bara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang berlokasi di Bolok Kecamatan Kupang Barat, Kabupaten Kupang. *Bottom ash* yang dihasilkan pada PLTU Bolok perhari sebesar 2–3 ton, jadi produksi *bottom ash* perbulan mencapai 60-90 ton. Dari salah satu penelitian terdahulu oleh Indriani Santoso Salil Kumar Roy, Patrick, dan Andarias (2003) dengan judul *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton* Dari penelitian ditemukan bahwa persentase terbaik penggantian agregat halus dengan *bottom ash* adalah sepuluh persen (memenuhi persyaratan) kecuali persyaratan rongga udara. Sebuah bahan additif (*chemcrete*) digunakan untuk memperbaiki rongga udara. Penggunaan *chemcrete* dapat meningkatkan nilai stabilitas serta memperbaiki nilai rongga udara pada campuran aspal beton. Dari penelitian terdahulu tersebut presentase *bottom ash* 50% sudah tidak memenuhi salah satu parameter marshall sehingga pada penelitian ini saya menggunakan presentase dibawah 50% yaitu 0%, 15%, 20%, 25 % dan 30%.

Dengan meningkatnya limbah hasil pembakaran batu bara berupa *bottom ash* yang semakin hari terus bertambah, dapat menimbulkan penumpukan limbah batu bara. Hal tersebut dapat menyebabkan masalah terutama pada proses pembuangannya, karena dapat mencemari lingkungan sekitar. Oleh karena itu, untuk mengurangi penumpukan limbah hasil pembakaran batu bara berupa *bottom ash*, maka dilakukan inovasi baru dengan memanfaatkan *bottom ash* sebagai alternatif pengganti pasir pada laston, karena memiliki sifat dan bentuk yang serupa dengan material agregat halus (pasir), maka tugas akhir ini akan dibahas mengenai “*Analisis Pengaruh Variasi Bottom Ash Sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir) Dalam Campuran Lapis Aspal Beton (Laston) Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Dengan Metode Marshall*”. Diharapkan penggunaan *bottom ash* sebagai agregat halus (pasir) dalam campuran laston dapat memenuhi nilai stabilitas, nilai *flow*, oleh Indriani Santoso nilai *void in mix* (VIM), nilai *void filled with bitument* (VFB), dan nilai kadar aspal optimum (KAO) yang memenuhi syarat dari spesifikasi Bina Marga tahun 2018 (Revisi 2).

2. METODE PENELITIAN

a. Waktu dan Tempat Penelitian

Lokasi penelitian berada di Laboratorium Pengujian Bina Teknik Prov. Nusa Tenggara Timur. dan Laboratorium pengujian Teknik BPJN NTT. Waktu pelaksanaan penelitian kurang lebih 1 bulan terhitung dari bulan april hingga bulan mei 2024 Metode penelitian yang digunakan yaitu seperti pada **Gambar 1** bagan alir penelitian dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada **Gambar 1** diatas menunjukkan proses penelitian. Mulai dari pengambilan material. Pada penelitian ini proses pengambilan material agregat kasar dan agregat halus diperoleh dari *stocpile* milik PT. Bumi indah (

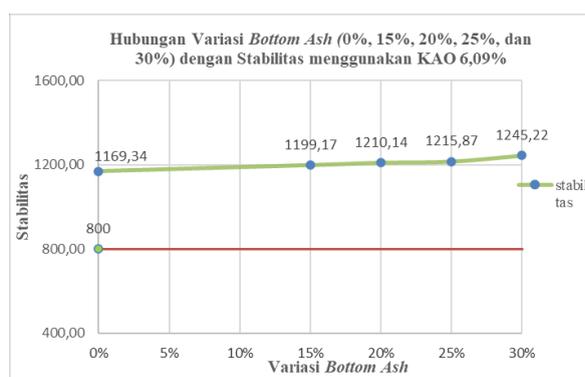
menggunakan *system random sampling*). Kemudian *bottom ash* diperoleh dari PLTU. Bolok. Selanjutnya dilakukan pengujian di laboratorium, pengujian ini meliputi pengujian material agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan juga aspal penetrasi 60/70. Setelah memenuhi spesifikasi dilanjutkan dengan rancangan proporsi agregat gabungan, pada tahap ini material agregat kasar, halus dan *filler* memenuhi spesifikasi batasan kurva untuk campuran laston namun tidak dimasukkan pengujian analisa saringan untuk material *bottom ash*, karena *bottom ash* ditambahkan setelah mendapatkan kadar aspal optimum. Kemudian menentukan kadar aspal rencana dengan persamaan: $P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% filler) + \text{konstanta}$ dengan K untuk laston = 0,5-1,0. Tahap selanjutnya yaitu pembuatan benda uji dengan 5 variasi kadar aspal rencana (P_b), tahap ini di dapatkan $P_b = 5,74\%$ dibulatkan menjadi 6%, maka kadar aspal rencana yang dipakai yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Kemudian dilakukan pengujian marshall I untuk menentukan kadar aspal optimum, kadar aspal optimum yang dihasilkan yaitu 6,09%, selanjutnya pembuatan benda uji dengan 5 variasi yaitu 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30% menggunakan KAO. Kemudian dilakukan pengujian marshall ke II untuk mendapatkan nilai-nilai parameter marshall setelah penambahan variasi *bottom ash*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Kadar Aspal dengan Parameter Marshall menggunakan Kadar Aspal Optimum.

a. Hubungan Variasi Bottom Ash dengan Stabilitas

Hubungan Variasi *Bottom Ash* dengan stabilitas dapat dilihat pada **Gambar 2**.

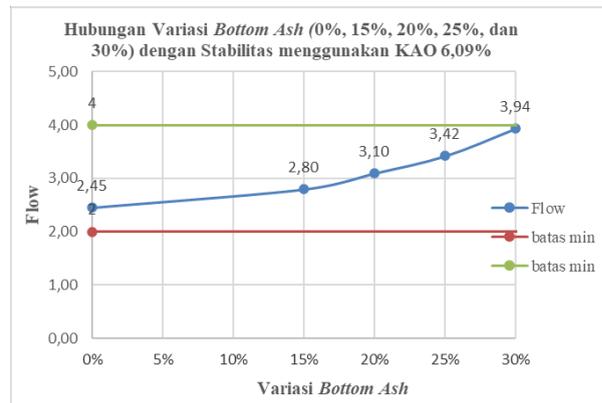


Gambar 2. Grafik Hubungan Variasi *Bottom Ash* Dengan Stabilitas
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR, Prov. NTT, Mei 2024

Hasil pengujian pada grafik **Gambar 2** dapat dilihat bahwa nilai stabilitas terus meningkat seiring bertambahnya variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25% dan 30% pada kadar aspal optimum. Hal ini terjadi karena penambahan *bottom ash* dapat mengisi rongga-rongga dalam campuran sehingga daya ikat atau kohesi pada aspal menyebabkan *interlocking* (penguncian antar agregat) semakin baik sehingga meningkatnya nilai stabilitas campuran sebaliknya nilai stabilitas yang rendah menunjukkan kerapatan campuran berkurang sehingga bidang kontak antar agregat rendah dan agregat tidak saling mengunci dengan baik (*interlocking*) antar butir agregat berkurang sehingga dapat mengakibatkan gelombang dan alur. Pada nilai stabilitas terjadi kenaikan dari variasi 0% hingga 30% mulai dari rentang variasi 0%-15% = 2,49%, 15%-20% = 0,91%, 20%-25% = 0,47%, dan 25%-30% = 2,36%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan variasi *bottom ash* pada kadar aspal optimum dengan variasi 0%, 15%, 20%, 25% dan 30% melewati batas minimum ≥ 800 kg (memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2)

b. Hubungan Variasi Bottom Ash dengan Flow

Hubungan Variasi *Bottom Ash* dengan *Flow* dapat dilihat pada **Gambar 3**.

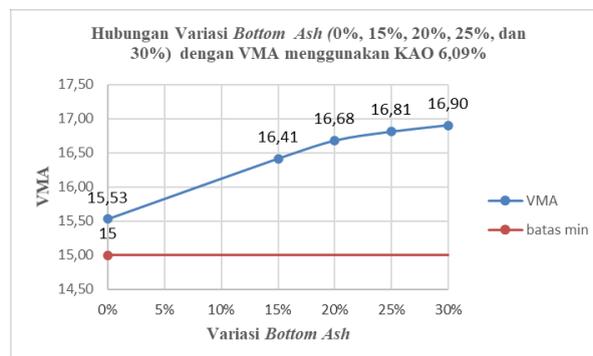


Gambar 3. Grafik Hubungan Variasi *Bottom Ash* Dengan Flow
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR, Prov. NTT, Mei 2024

Pada **Gambar 3** dapat dilihat bahwa nilai *flow* terus meningkat seiring bertambahnya presentase variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25% dan 30% pada kadar aspal optimum. Presentase kenaikan nilai *flow* mulai dari rentang 0%-15%=12,15%, 15%-20%=9,68%, 20%-25%=9,36%, dan 25%-30%=13,20%. Nilai *flow* yang tinggi akan mengakibatkan campuran mudah mengalami perubahan bentuk (*deformasi*). Sebaliknya campuran dengan nilai *flow* rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga perkerasan mudah mengalami keretakan. Dapat disimpulkan bahwa penambahan variasi *bottom ash* pada kadar aspal optimum dengan variasi 0%, 15%, 20%, 25% dan 30% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2.

c. Hubungan Variasi Bottom Ash dengan VMA

Hubungan Variasi *Bottom Ash* dengan *Void In The Mineral Aggregate (VMA)* dapat dilihat pada **Gambar 4**.

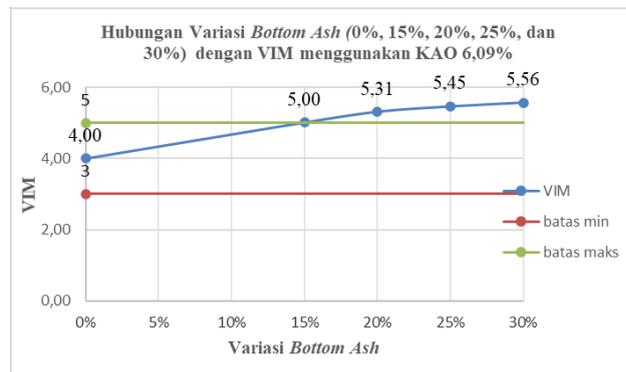


Gambar 4. Grafik Hubungan Variasi *Bottom Ash* Dengan VMA
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR, Prov. NTT, Mei 2024

Pada **Gambar 4** dapat dilihat bahwa nilai *VMA* terus meningkat seiring dengan bertambahnya presentase variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25% dan 30% pada kadar aspal optimum. Nilai *VMA* yang tinggi berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, namun nilai *VMA* yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan potensi terjadinya *bleeding*. Nilai *VMA* yang terlalu rendah menunjukkan kecilnya jumlah aspal yang mengisi rongga, sehingga akan menyebabkan lapisan kurang dapat mengikat agregat yang berakibat perkerasan mudah terjadi *stripping*. Kenaikan nilai *VMA* dari 0% sampai 30% mulai dari rentang variasi 0%-15%=5,36%, 15%-20%=1,69%, 20%-25%= 0,77%, dan 25%-30%=0,53%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan variasi *bottom ash* pada kadar aspal optimum dengan variasi 0%, 15%, 20%, 25% dan 30% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2.

d. Hubungan Variasi Bottom Ash dengan VIM

Hubungan Variasi *Bottom Ash* dengan *Void in Mix (VIM)* dapat dilihat pada **Gambar 5**.

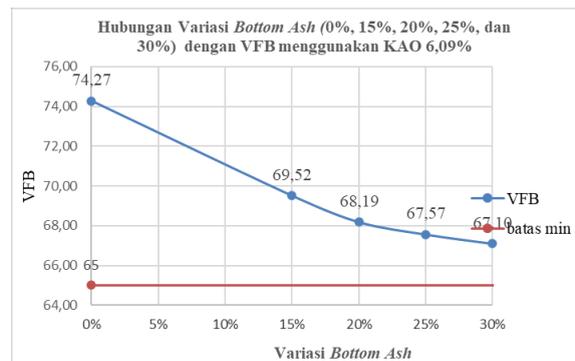


Gambar 5. Grafik Hubungan Variasi *Bottom Ash* Dengan VIM
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR, Prov. NTT, Mei 2024

Berdasarkan hasil pengujian dilihat bahwa nilai *VIM* terus meningkat seiring dengan dengan prentase variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25% dan 30%. Kenaikan nilai *VIM* dari 0% hingga 30% untuk rentang variasi 0%-15%=20%, 15%-20%= 5,84%, 20%-25%=2,57%, dan 25%-30%=1,98%. Nilai *VIM* yang terlalu besar akan mengurangi kedekatan campuran, sehingga keawetan perkerasan menjadi menurun. Nilai *VIM* yang tinggi disebabkan karena ukuran butiran *bottom ash* lebih halus, seragam dan juga ringan dibandingkan dengan pasir yang digunakan sehingga membuat rongga antar butiran yang besar dan menyebabkan kurangnya *interlocking* antar agregat. Sebaliknya jika nilai *VIM* terlalu rendah akan mudah mengalami *bleeding*. Hal ini terjadi karena rongga yang ada dalam campuran kecil, sehingga tidak tersedia ruang yang cukup dan mengakibatkan aspal naik ke permukaan. Hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 5** dapat disimpulkan bahwa penambahan variasi *bottom ash* pada kadar aspal optimum dengan variasi 0%, dan 15% saja yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2 sedangkan pada variasi 20%, 25% dan 30% tidak memenuhi spesifikasi disebabkan kurangnya daya ikat (*interlocking*) antar agregat yang kurang optimal, sehingga banyaknya rongga dalam campuran menyebabkan campuran bersifat porous.

e. Hubungan Variasi Bottom Ash dengan VFB

Hubungan variasi *bottom ash* dengan *Void Filled With Bitumen (VFB)* dapat dilihat pada **Gambar 6**.

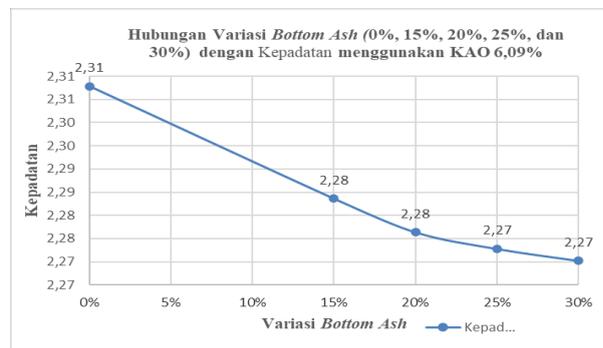


Gambar 6. Grafik Hubungan Variasi *Bottom Ash* Dengan VFB
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR, Prov. NTT, Mei 2024

Hasil pengujian pada **Gambar 6** dapat dilihat bahwa nilai *VFB* semakin menurun seiring bertambahnya variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25% dan 30% akan tetapi tidak melewati batas minimum yang ditentukan. Nilai *VFB* yang rendah menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena film aspal menjadi tipis dan mudah retak. Nilai *VFB* yang tinggi berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal dikarenakan rongga antar butir agregat yang awalnya terisi udara, kemudian digantikan dengan aspal yang menempati rongga tersebut setelah adanya proses pemadatan. Akan tetapi nilai *VFB* yang terlalu tinggi akan mengakibatkan *bleeding*. Presentase kenaikan nilai *VFB* mulai dari rentang variasi 0%-15%=6,40%, 15%-20%=1,91%, 20%-25%=0,91%, dan 25%-30%=0,70%. Dari **Gambar 6** disimpulkan bahwa penambahan variasi *bottom ash* pada kadar aspal optimum dengan variasi 0%, meningkat namun pada variasi 15%, 20%, 25%, dan 30% nilai *VFB* semakin menurun namun tidak melewati batas minimum (memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2.)

f. Hubungan Variasi Bottom Ash dengan Kepadatan

Hubungan variasi *bottom ash* dengan kepadatan dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Grafik Hubungan Variasi *Bottom Ash* Dengan Kepadatan.
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR, Prov. NTT, Mei 2024

Kepadatan merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai density suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.34 dan Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa nilai kepadatan semakin menurun seiring bertambahnya variasi bottom ash 0%, 15%, 20%, 25% dan 30%. Besar presentase penurunan nilai kepadatan mulai dari rentang variasi 0%-15%= 1,30%, 15%-20%=0%, 20%-25%=0,44% dan 25%-30%=0%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan variasi bottom ash pada kadar aspal optimum dengan variasi 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30% semakin menurun mempengaruhi kadar aspal optimum, maka campuran akan bersifat plastis dan lentur sehingga campuran dengan mudah berubah bentuk dan terjadi bleeding.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Nilai parameter marshall yang dihasilkan dengan penambahan variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30% menggunakan kadar aspal optimum berupa nilai stabilitas, kelelahan (*Flow*), *VMA*, *VIM*, *VFB*, dan Kepadatan pada campuran laston AC-WC dapat disimpulkan bahwa, nilai stabilitas semakin meningkat seiring bertambahnya variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Pada nilai stabilitas terjadi kenaikan dari variasi 0% hingga 30% mulai dari rentang variasi 0%-15% = 2,49%, 15%-20%= 0,91%, 20%-25%= 0,47%, dan 25%-30%=2,36%. Nilai Stabilitas terendah terdapat pada variasi 0%. Untuk nilai kelelahan (*Flow*) semakin meningkat dengan bertambahnya variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. bertambahnya presentase variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25% dan 30% pada kadar aspal optimum. Presentase kenaikan nilai *flow* mulai dari rentang 0%-15%=12,15%, 15%-20%=9,68%, 20%-25%=9,36%, dan 25%-30%=13,20, selanjutnya nilai *VMA* semakin meningkat dengan bertambahnya variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Nilai *VMA* terendah pada variasi 0% = terus meningkat hingga variasi 30% kenaikan nilai *VMA* dari 0% sampai 30% mulai dari rentang variasi 0%-15%=5,36%, 15%-20%=1,69%, 20%-25%= 0,77%, dan 25%-30%=0,53%. Nilai *VIM* semakin meningkat dengan bertambahnya variasi *bottom ash*. Nilai *VIM* terendah pada variasi 0% yaitu dan tertinggi pada variasi 30% Kenaikan nilai *VIM* dari 0% hingga 30% untuk rentang variasi 0%-15%=20%, 15%-20%= 5,84%, 20%-25%=2,57%, dan 25%-30%=1,98%. Selanjutnya untuk nilai *VFB* dapat dilihat bahwa kekuatan nilai *VFB* semakin menurun seiring bertambahnya variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Nilai *VFB* tertinggi pada variasi 0% dan yang paling terendah pada variasi 30% = namun tidak melewati batas minimum yaitu 65%. Presentase kenaikan nilai *VFB* mulai dari rentang variasi 0%-15%=6,40%, 15%-20%=1,91%, 20%-25%=0,91%, dan 25%-30%=0,70%. Nilai Kepadatan semakin menurun seiring bertambahnya variasi *bottom ash* 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Nilai kepadatan tertinggi pada variasi 0% = dan yang paling terendah pada variasi 30%. Besar presentase penurunan nilai kepadatan mulai dari rentang variasi 0%-15% = 1,30%, 15%-20%=0%, 20%-25%=0,44% dan 25%-30%=0%. Dari nilai parameter marshall dapat dilihat bahwa seluruh parameter memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2 kecuali nilai *VIM* yang memenuhi dengan variasi 0%, dan 15% saja yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2 sedangkan pada variasi 20%, 25% dan 30% tidak memenuhi spesifikasi. Hal tersebut disebabkan karena ukuran butiran *bottom ash* lebih halus, seragam dan juga ringan dibandingkan dengan pasir yang digunakan sehingga membuat rongga antar butiran yang besar dan kurangnya *interlocking*) antar agregat yang kurang optimal, sehingga banyaknya rongga dalam campuran menyebabkan campuran bersifat porus.

Saran

Dalam pelaksanaan penelitian ini disarankan:

- a. Peneliti selanjutnya diharapkan melakukan peninjauan pembahan *bottom ash* sebagai pengganti pasir sebelum mendapatkan KAO. Agar mengetahui rancangan proporsi agregat gabungan dan untuk mengetahui variasi *bottom ash* yang sama seiring dengan bertambahnya kadar aspal.
- b. Saat melakukan pengujian fisik material pada proses pengujian Marshall, pencampuran aspal dengan agregat dan proses pemadatan perlu diperhatikan dengan baik agar sesuai dengan Spesifikasi yang telah ditetapkan.
- c. Dikarenakan produksi *bottom ash* pada PLTU Bolok perhari 2-3 ton atau perbulan kurang lebih 60-90 ton maka disarankan untuk digunakan pada daerah-daerah yang pasirnya terbatas ataupun ke daerah terdekat seperti semau.
- d. Diharapkan kepada pemerintahan setempat jika ingin mrnggunakan *bottom ash* sebagai pengganti pasir dalam campuran *Laston AC-WC* dengan kadar aspal optimum (KAO) hanya digunakan sampai dengan variasi 15% (memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2).

DAFTAR PUSTAKA DAN PENULISAN PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Revisi 2. 2018. Spesifikasi Umum.
- GB, Ramadhan (2014) bab iii landasan teori 3.1 perkerasan jalan (Universitas Islam Indonesia)
- Haekal, M., Dkk. (2023). Karakteristik Campuran Aspal Beton Menggunakan *Coal Bottom Ash* Dengan Persentase 0%, 10%, Dan 15% Sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus. *Journal of The Civil Engineering Student*, 5(2), 120-126.
- Indriyati, T. S., Dkk. (2019). Kajian pengaruh pemanfaatan limbah FABAs (*Fly Ash* dan *Bottom Ash*) pada konstruksi lapisan base perkerasan jalan. *Jurnal Teknik*, 13(2), 112-119.
- Kinanti, B. (2020). Pengaruh Kadar *Bottom Ash* Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Ac-Wc (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).
- Marsya, f. a. (2021) Tugas Akhir Pengaruh Limbah *Fly Ash* dan *Bottom Ash* PLTU Banjarsari Kabupaten Lahat pada Campuran Aspal Hangat Laston AC-WC Terhadap Perkerasan Lentur. (universitas sriwijaya)
- Prasetyo, E., Dkk. (2021). Analisis Perbandingan Pasir Laut dan Pasir Sungai Sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall. *Jumatisi: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 2(2), 178-189.
- Santoso, I., Dkk. (2003). Pengaruh Penggunaan *Bottom Ash* Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. *Civil Engineering Dimension*, 5(2), 75-81.
- Sukirman, S. (1999). Perkerasan lentur jalan raya. Bandung
- Sugeha, A. L. R., Dkk (2018). Pemanfaatan Limbah Abu Batu bara sebagai filler pada campuran Laston. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 5(3).
- Westplat, A. M., Dkk. (2018). Penggunaan *Bottom Ash* Sebagai Agregat Halus Terhadap Karakteristik Laston AC-WC dengan Bahan Pengikat Retona Blend 55. *Jurnal Sipil Sains*, 8(15)
- Aisyana, Maulana Raja. (2022). Politik Kebijakan Limbah Energi: Analisis Kebijakan Penghapusan Limbah Faba dari Daftar Limbah Berbahaya di Indonesia. *Jurnal Ilmu Sosial Indonesia (JISI)*, 3.2: 90-98.
- Pau, Dkk (2017). Variasi Pasir Gunung Sebagai Bahan Campuran Perkerasan Asphalt Concrete Terhadap Kualitas Perkerasan Jalan. *SIARTEK*, 3.1: 33-42.
- Sistra, Dkk (2015). Perencanaan dan Pengujian Aspal Penetrasi 60/70 yang Dimodifikasi dengan *Etyhlene Vinyl Acetate* (EVA).