

ANALISIS SUBSTITUSI PASIR BESI SEBAGAI AGREGAT HALUS PADA KINERJA ASPAL (AC-BC)

Tahta Arka Nirwana R¹, Bobby Asukmajaya R², Akhmad Suryadi.³

Mahasiswa Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: tahtaarkanirwana.tn@gmail.com ¹, bobbyasukma@polinema.ac.id ², akhmad.suryadi@polinema.ac.id ³

RINGKASAN

Indonesia sebagai negara berkembang banyak melakukan pembangunan jalan, di Indonesia sendiri jenis lapis aspal beton merupakan lapisan yang mudah di temukan. Laston tersusun dari agregat kasar, agregat halus, filler, Aspal, dan bahan tambahan lainnya. Pasir sebagai salah satu sumber daya alam yang melimpah di Indonesia belum di manfaatkan secara maksimal, salah satunya adalah pasir besi yang mengandung banyak mineral didalamnya. Inovasi ini menggunakan Pasir besi sebagai substitusi agregat halus dalam campuran aspal (AC-BC). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis: (1) sifat fisik agregat kasar, agregat halus, dan aspal, (2) kadar aspal tanpa substitusi pasir besi yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, (3) pengaruh pasir besi pada variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% sebagai substitusi agregat halus pada saringan 0,300 mm dalam campuran laston AC-BC, dan (4) rencana anggaran biaya untuk membuat laston AC-BC dengan Substitusi pasir besi. Pada penelitian ini menggunakan acuan Bina Marga 2018 (Revisi 3) dan modul pengujian bahan dari Politeknik Negeri Malang. Sebelum membuat benda uji perlu dilakukan uji fisik untuk mengetahui apakah bahan penyusun sudah memenuhi ketentuan. Pembuatan benda uji normal untuk menentukan KAO di buat menggunakan 2 sampel setiap variasi sehingga didapatkan nilai 5,3%. Pembuatan benda uji dengan substitusi pasir besi menggunakan 3 sampel. Pada karakteristik *Marshall* didapatkan nilai-nilai parameter terbaik dengan nilai yang didapatkan sebagai berikut untuk Stabilitas = 1289,93 kg, Flow = 2,15 mm, VMA = 14,96%, VFA = 92,00%, dan MQ = 588,98 kg/mm Variasi 50% menjadi variasi pasir besi yang baik untuk di gunakan sebagai laston AC-BC dikarenakan lapisan AC-BC membutuhkan nilai Stabilitas yang tinggi. Anggaran biaya untuk substitusi pasir besi 50% yang didapatkan Rp. 1,681,098.45.

Kata Kunci: pasir besi, pemanfaatan, laston AC-BC, agregat halus, pengujian marshall

SUMMARY

Indonesia as a developing country does a lot of road construction, in Indonesia itself the type of asphalt concrete layer is a layer that is easily found. Laston is composed of coarse aggregate, fine aggregate, filler, asphalt, and other additives. Sand as one of the abundant natural resources in Indonesia has not been utilised optimally, one of which is iron sand which contains many minerals in it. This innovation uses iron sand as a substitute for fine aggregate in asphalt mixtures (AC-BC). This research aims to analyse: (1) the physical properties of coarse aggregate, fine aggregate, and asphalt, (2) asphalt content without iron sand substitution, namely 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, (3) the effect of iron sand in variations of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% as a substitute for fine aggregate on a 0.300 mm sieve in the AC-BC laston mixture, and (4) a cost budget plan for making AC-BC laston with iron sand substitution. This research uses the reference of Bina Marga 2018 (Revision 3) and the material testing module from Malang State Polytechnic. Before making test specimens, physical tests need to be carried out to find out whether the constituent materials meet the requirements. Making normal test objects to determine KAO is made using 2 samples of each variation so that a value of 5.3% is obtained. Making test objects with iron sand substitution using 3 samples. In Marshall characteristics, the best parameter values were obtained with the following values for Stability = 1289.93 kg, Flow = 2.15 mm, VMA = 14.96%, VFA = 92.00%, and MQ = 588.98 kg/mm The 50% variation is a good iron sand variation to use as an AC-BC laston because the AC-BC layer requires a high stability value. The cost budget for 50% iron sand substitution obtained is Rp. 1,681,098.45.

Keywords: iron sand, utilisation, AC-BC laston, fine aggregate, marshall test

1. PENDAHULUAN

Pasir sebagai salah satu sumber daya alam yang melimpah di Indonesia, telah lama dimanfaatkan terutama sebagai bahan bangunan. Namun, keberlimpahan pasir ini belum sepenuhnya dimanfaatkan secara optimal, mengingat bahwa pasir sebenarnya mengandung mineral berharga, seperti unsur besi, titanium, dan elemen lain yang memiliki potensi untuk digunakan dalam industri. Selain itu, dalam komposisi pasir terdapat kandungan pasir besi yang memiliki banyak mineral di dalamnya dan dapat dijadikan sebagai sumber besi, namun pemanfaatannya di Indonesia masih terbatas.

Saat ini, pasir besi banyak dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam industri pabrik semen. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk menggali potensi mineral berharga yang terkandung dalam pasir, serta merancang strategi pemanfaatan yang lebih luas dan berkelanjutan. Dengan demikian, dapat dihasilkan inovasi dalam industri yang dapat memaksimalkan manfaat pasir, selain sebagai bahan konstruksi, juga sebagai sumber daya berharga untuk industri lainnya di Indonesia.

Indonesia sendiri sebagai negara berkembang melakukan banyak pekerjaan konstruksi salah satunya pembuatan jalan dan juga rehabilitasi jalan sebagai pemerataan pembangunan nasional. Jalan memiliki beragam jenis salah satunya yaitu laston (Lapisan Aspal Beton) yang sangat mudah di temukan. Laston tersusun dari agregat kasar, agregat halus, filler, Aspal, dan bahan tambahan lainnya. laston sendiri memiliki tiga jenis lapisan yaitu AC-WC, AC-BC, dan AC-Base. Ditinjau dari bahan penyusun laston, pasir besi bisa digunakan untuk menggantikan agregat halus sebagai bahan penyusunnya.

Bedasarkan kondisi di atas penulis bertujuan untuk melakukan pemanfaatan pasir besi sebagai Substitusi agregat halus pada saringan 0.300 mm dengan presentase 0%, 25%, 50%, 75%, 100% sebagai campuran aspal (AC-BC) untuk mengetahui dampak yang akan dihasilkan terhadap karakteristik marshall.

TINJAUAN PUSTAKA

Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan struktur yang ditempatkan di atas tanah dasar (Subgrade) dengan tujuan menyebarkan beban roda agar tanah dasar tidak mengalami deformasi selama masa penggunaan yang direncanakan, sekaligus melindungi subgrade dan lapisan perkerasan dari kerusakan akibat beban lalu lintas. Terdapat tiga jenis konstruksi perkerasan jalan berdasarkan jenisnya:

1. Konstruksi perkerasan lentur (flexible pavement) terdiri dari lapisan permukaan aspal, lapis pondasi, dan lapis pondasi bawah granular yang ditempatkan di atas tanah

dasar. Fungsi utamanya adalah untuk memberikan daya dukung yang merata serta melindungi tanah dasar dari deformasi.

2. Konstruksi perkerasan kaku (rigid pavement) terdiri dari lapis permukaan berupa pelat beton, seringkali dengan atau tanpa tulangan, serta pondasi atas dan pondasi bawah. Jenis perkerasan ini cocok untuk jalan raya dengan volume lalu lintas tinggi karena kekuatan dan keawetannya yang baik.
3. Konstruksi perkerasan komposit (composite pavement) merupakan gabungan dari perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Struktur ini terdiri dari lapisan aspal beton, pondasi yang dapat dirawat dengan aspal atau semen. Penyatuan karakteristik kedua jenis perkerasan ini memberikan kombinasi kekuatan dan elastisitas yang diinginkan. (Juniarti et al., 2021)

Kriteria Perkerasan Lentur

Perkerasan jalan merupakan struktur lapisan yang terbuat dari bahan yang memenuhi standar tertentu, ditempatkan di atas tanah timbunan atau tanah dasar yang telah dipadatkan. Fungsi utama dari lapisan perkerasan adalah untuk mendistribusikan beban yang timbul akibat beban roda ke area yang lebih luas pada tanah dasar di bawahnya. Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh lapisan perkerasan antara lain:

1. Secara keseluruhan, perkerasan jalan harus memiliki kekuatan yang memadai untuk menopang beban lalu lintas yang melintas di atasnya.
2. Permukaan jalan harus mampu menahan gaya gesek dan keausan yang disebabkan oleh roda kendaraan, serta memiliki ketahanan terhadap pengaruh air.
3. Textur permukaan perkerasan harus memberikan kenyamanan bagi kendaraan yang melintas.
4. Tingkat keawetan perkerasan harus tinggi, menunjukkan daya tahan terhadap berbagai kondisi cuaca dan beban lalu lintas.
5. Lapisan perkerasan juga harus memiliki nilai ekonomis yang baik, mempertimbangkan efisiensi biaya dalam pembangunan dan pemeliharannya.

Dengan demikian, perkerasan jalan tidak hanya harus kuat dan tahan terhadap berbagai pengaruh, tetapi juga harus memperhatikan aspek kenyamanan, keawetan, dan nilai ekonomis untuk memastikan keberlanjutan fungsinya dalam mendukung lalu lintas kendaraan. (Pattipeilohy et al., 2019)

Karakteristik Laston (AC-BC)

Menurut Asphalt Institute (2014), tujuan akhir dari pembuatan desain campuran adalah mencapai semua karakteristik yang diinginkan untuk campuran beraspal.

Karakteristik tersebut melibatkan beberapa aspek, antara lain:

1. *Stabilitas*: Kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk yang signifikan, seperti gelombang, alur, atau bleeding. Stabilitas ini diperoleh melalui gradasi agregat yang rapat, permukaan kasar, dan aspal yang cukup.
2. *Fatigue Resistance*: Kemampuan perkerasan untuk menahan pembebanan berulang akibat beban roda dari lalu lintas.
3. *Impermeability*: Kemampuan campuran beton aspal untuk tidak dapat dimasuki oleh air, mencegah efek gerusan yang dapat terjadi akibat air yang masuk dan ditarik keluar selama lalu lintas.
4. *Durability*: Kemampuan perkerasan untuk bertahan terhadap penuaan aspal, disintegrasi agregat, dan pengupasan lapisan aspal dari agregat, yang umumnya disebabkan oleh cuaca, beban lalu lintas, atau keduanya.
5. *Skid Resistance*: Kemampuan permukaan perkerasan untuk meminimalkan selip pada ban kendaraan, terutama saat kondisi jalan basah, dengan menghasilkan kekesatan pada permukaan perkerasan.
6. *Flexibility*: Kemampuan lapisan perkerasan untuk mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak atau perubahan volume yang signifikan.
7. *Workability*: Kemudahan dalam menempatkan dan memadatkan campuran beraspal, memastikan proses konstruksi dapat dilakukan dengan mudah dan efisien.

Pentingnya memenuhi semua karakteristik ini dalam desain campuran beraspal untuk memastikan kinerja perkerasan yang optimal dan tahan lama.(Reynaldi Darmawan Senolinggi, 2023)

Agregat Kasar

Menurut Bina Marga 2018 agregat kasar adalah ayakan yang tertahan di saringan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

Agregat Halus

Agregat bergradasi halus merujuk pada jenis agregat dengan distribusi ukuran yang baik, mulai dari kasar hingga halus, dengan dominasi ukuran agregat halus. Fraksi agregat halus yang digunakan dalam campuran adalah yang lolos pada ayakan No.8 (2,36mm) dan tertahan pada saringan No.200 (0,075mm).

Filler

Filler adalah material berbutir halus yang lolos saringan No. 200 (diameter 0.075 mm), filler dalam campuran aspal berperan sebagai materi pengisi yang menutupi celah di

antara agregat kasar dan halus, menghindarkan terbentuknya rongga. Selain itu, filler juga berpengaruh pada berbagai aspek kinerja campuran aspal seperti resistensi terhadap kondisi cuaca, ketahanan terhadap pengaruh lingkungan, dan kelenturan(Susanto, 2020)

Aspal

Aspal, sebuah material perekat berwarna hitam, memiliki bitumen sebagai komponen utamanya. Karena peran dominannya sebagai bahan pengikat, bitumen sering disebut sebagai aspal. Aspal termasuk material termoplastis, yang artinya sifatnya dapat berubah tergantung pada suhu ruangan. Ketika dipanaskan pada suhu tinggi, aspal akan mengalami pencairan, dan kembali mengeras saat suhunya menurun. Aspal juga berperan sebagai komponen dalam campuran pembentuk perkerasan jalan, termasuk Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC). Dalam konteks ini, aspal tidak hanya sebagai perekat tetapi juga sebagai elemen penting dalam struktur jalan.(Richard W. V. Uguy, 2022)

Pasir Besi

Pasir besi secara alamiah memperlihatkan sifat feromagnetik yang kuat berkat keberadaan mineral-mineral 10agnetic seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha-Fe_2O_3$), dan 10agnetic10 ($\gamma-Fe_2O_3$) di dalamnya. Kehadiran mineral-mineral ini memberikan pasir besi kemampuan untuk merespons dengan kuat terhadap medan magnet luar, sehingga sifat magnetiknya dapat dikembangkan lebih lanjut melalui berbagai penelitian. Penerapan utama dari sifat 10agnetic pada pasir besi terlihat dalam riset khusus yang bertujuan menghasilkan adsorben bersifat 10agnetic. Tujuan utama dari pengembangan ini adalah untuk mempermudah proses pemisahan antara adsorbat dan adsorben saat dilakukan proses adsorpsi.(Karbeka et al., 2020)

Pasir besi memiliki beberapa sifat mekanis penting yang mempengaruhi penggunaannya dalam berbagai aplikasi. Berikut ini adalah beberapa sifat mekanis utama dari pasir besi beserta referensi jurnal ilmiah yang relevan:

1. **Kekuatan Tekan**: Pasir besi memiliki kekuatan tekan yang signifikan, yang membuatnya ideal untuk digunakan dalam beton dan material konstruksi lainnya. Studi menunjukkan bahwa penambahan pasir besi pada beton dapat meningkatkan kekuatan tekan dan fleksuralnya secara substansial.
2. **Densitas Tinggi**: Pasir besi memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pasir biasa, yang memberikan bobot tambahan pada material yang dicampur dengannya dan meningkatkan kekuatan struktural keseluruhan.
3. **Ketahanan terhadap Korosi**: Pasir besi menunjukkan ketahanan yang baik terhadap korosi, menjadikannya

cocok untuk aplikasi yang terekspos kondisi lingkungan yang keras.

4. Konduktivitas Termal: Pasir besi memiliki konduktivitas termal yang tinggi, yang memungkinkannya digunakan dalam aplikasi yang memerlukan disipasi panas yang efisien.
5. Kekerasan dan Ketahanan Aus: Sifat mekanis pasir besi yang keras dan tahan aus membuatnya cocok digunakan dalam proses abrasif dan dalam pembuatan beton dengan ketahanan aus tinggi.
6. Sifat Magnetik: Sifat magnetik pasir besi memungkinkan pemisahan mudah dari material non-magnetik dan penggunaannya dalam berbagai aplikasi industri yang memanfaatkan sifat ini, seperti dalam pemurnian logam dan industri metalurgi (Liu et al., 2023).

Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan suatu perkerasan untuk menahan perubahan atau deformasi yang diakibatkan oleh beban lalu lintas. Penilaian stabilitas diperoleh melalui pengukuran jam stabilitas.

Flow (Kelelehan)

Kelelehan menunjukkan nilai deformasi pada benda uji, nilai kelelehan didapat dari pembacaan *flow* meter.

VIM (Void in mix)

Dalam campuran perkerasan aspal, rongga atau VIM (*Voids in Mix*) merujuk pada ruang udara di antara partikel agregat yang dilapisi oleh aspal.

VMA (Void in Mineral Agregatae)

Rongga di antara mineral agregat (VMA) adalah ruang yang terbentuk di antara partikel-partikel agregat dalam suatu perkerasan beraspal, termasuk volume udara dan volume aspal yang efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap oleh agregat).

VFA (Void Filled with Asphalt)

Rongga terisi aspal merupakan persentase dari rongga yang ada di antara partikel agregat yang telah terisi oleh aspal, tanpa memperhitungkan aspal yang telah diserap oleh agregat.

MQ (Marshall Quotient)

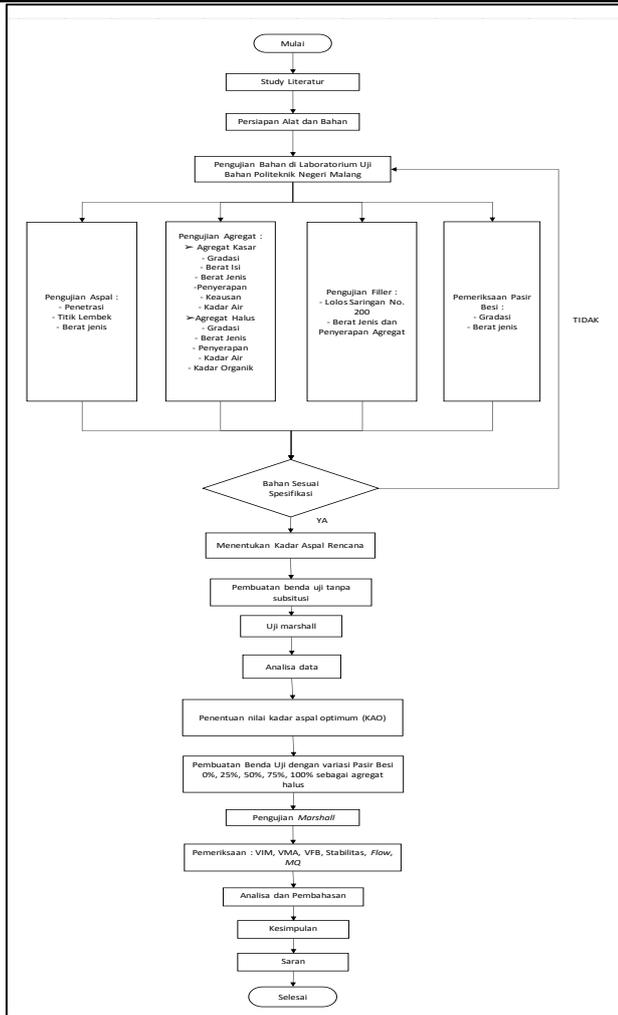
Marshall Quotient (MQ) adalah hasil dari pembagian dari nilai stabilitas (ketahanan) terhadap Kelelehan plastis (*flow*) dari campuran aspal.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan membaca literatur penelitian terdahulu dan juga standar teknis, hal tersebut dilakukan

untuk mendapatkan gambaran apa yang akan dilakukan. Setelah tahap penelitian, langkah selanjutnya melibatkan persiapan alat dan bahan untuk campuran Laston. Proses ini melibatkan pengujian parameter fisik pada agregat dan aspal. Evaluasi parameter fisik pada agregat halus mencakup analisis kadar air, gradasi atau analisis ayak, berat jenis, penyerapan, berat isi, dan kadar organik atau lumpur. Sementara itu, pengujian parameter fisik pada agregat kasar mencakup evaluasi kadar air, berat jenis, penyerapan, berat isi, dan kekerasan agregat kasar. Proses ini diperlukan untuk memahami karakteristik material yang digunakan dalam campuran Laston secara komprehensif. Hasil penelitian dari agregat dan aspal kemudian dianalisa dengan parameter sesuai standar.

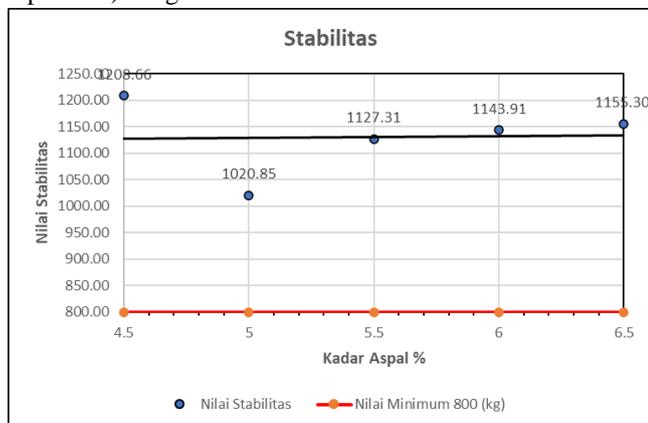
Penelitian ini terus berlanjut dengan melakukan JobMix untuk menentukan proporsi campuran aspal yang optimal. Hasil perhitungan JobMix menjadi dasar utama dalam proses pembuatan campuran aspal. Pengujian dilanjutkan dengan langkah pembuatan aspal, di mana benda uji dicetak dalam cetakan khusus. Tahap awal pengambilan benda uji melibatkan perendaman selama 24 jam untuk menentukan kondisi benda uji dalam keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*). Setelah itu, dilakukan penimbangan dalam air dan selanjutnya direndam selama 30 menit pada suhu 60 °C dalam pengujian Marshall. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan informasi yang komprehensif mengenai sifat-sifat campuran aspal yang dibuat. Serta pengujian *Marshall* untuk mengetahui nilai flow, VIM, VMA, VFA, dan MQ.



Gambar 1 Diagram Alir

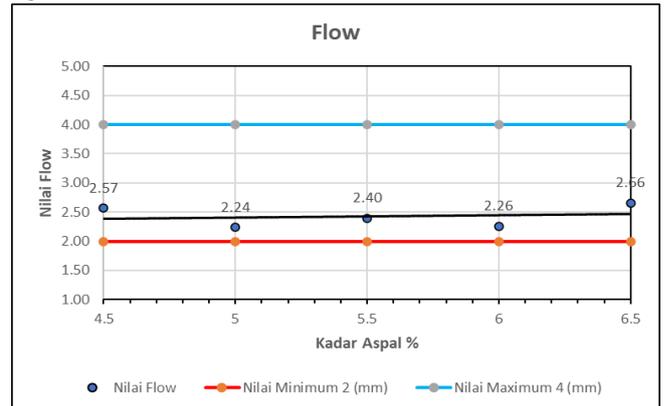
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian ini pada tahap pengujian fisik agregat dan aspal semuanya telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Dilanjutkan dengan penentuan KAO (Kadar Aspal Optimum) dengan hasil:



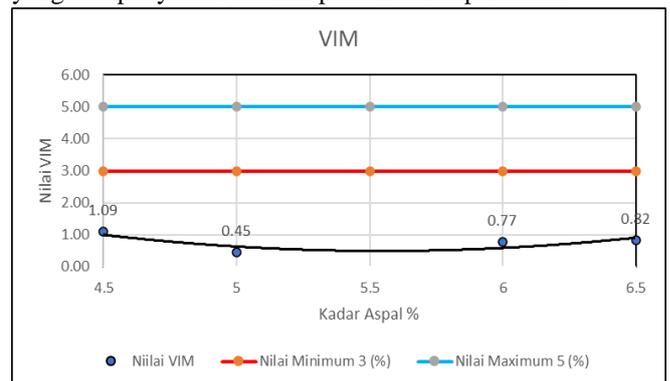
Gambar 2 Nilai Stabilitas (Laston AC-BC) Benda Uji Normal

Dari Gambar 2 di atas menunjukkan nilai stabilitas yang memenuhi nilai minimum pada standar Bina Marga 2018 (Revisi 3) dengan nilai minimum 800 kg, nilai yang di dapat pada parameter ini sebesar 1208.66 pada kadar aspal 4.5%, 1020.85 pada kadar aspal 5%, 1127.31 pada kadar 5.5%, 1143 pada kadar 6%, dan 1155.30 pada kadar 6.5%. nilai tertinggi terdapat pada kadar aspal 4.5 dengan nilai 1208.66 kg.



Gambar 3 Nilai Flow (Laston AC-BC) Benda Uji Normal

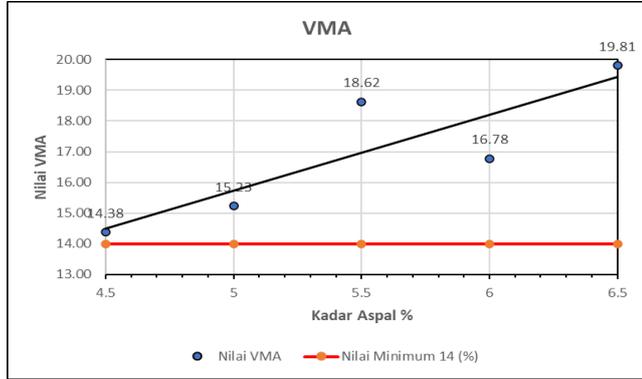
Dari Gambar 3 di atas menunjukkan nilai Flow yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Nilai Flow yang di dapat tidak mengalami konsistensi kenaikan nilai seiring bertambahnya jumlah kadar aspal dengan nilai 2.57 pada kadar aspal 4.5%, 2.24 pada kadar aspal 5%, 2.40 pada kadar aspal 5.5%, 2.26 pada kadar aspal 6%, dan 2.56 pada kadar aspal 6.5%. nilai tertinggi yang didapat yaitu 2.57 mm pada kadar aspal 4.5%.



Gambar 4 Nilai VIM (Laston AC-BC) Benda Uji Normal

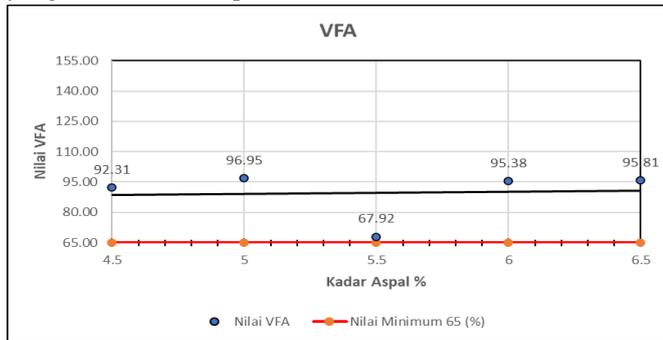
Dari Gambar 4 Nilai di atas menunjukkan nilai VIM yang tidak memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Jika dilakukan perincian kadar aspal akan didapatkan nilai 5.197% - 5.314% dan 5.719% - 5.847% sebagai kadar aspal yang memenuhi dari grafik diatas. Dikarenakan nilai VIM pada kadar 5.5% mendapatkan nilai

yang cukup tinggi dari yang lainnya sehingga penulis beranggapan bahwa nilai VIM pada kadar 5.5% mengalami kejanggalan sehingga nilai VIM pada kadar 5.5% di hilangkan.



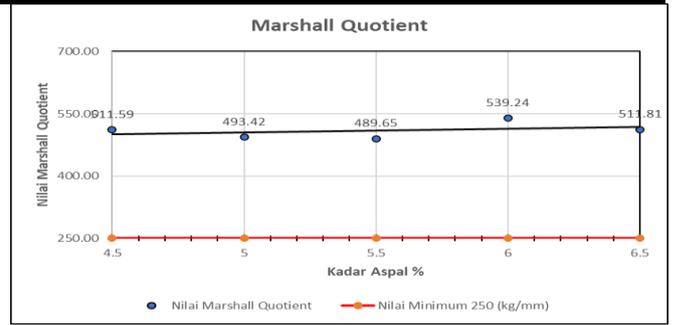
Gambar 5 Nilai VMA (Laston AC-BC) Benda Uji Normal

Dari Gambar 5 di atas menunjukkan nilai VMA yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Nilai VMA mengalami kenaikan yang tidak stabil yang seharusnya mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal dengan nilai tertinggi 19.81% pada kadar aspal 6.5. fungsi dari nilai VMA adalah untuk mengetahui rongga yang terdapat pada agregat. Nilai yang rendah pada VMA mengartikan bahwa rongga yang terdapat pada agregat itu sedikit sehingga kecil kemungkinan terjadinya deformasi, dan untuk nilai VMA yang tinggi mengindikasikan bahwa banyaknya rongga yang terdapat pada agregat dan bisa berakibat menurunkan nilai kekuatan yang dimiliki oleh aspal.



Gambar 6 Nilai VFA (Laston AC-BC) Benda Uji Normal

Dari Gambar 6 di atas menunjukkan nilai VFA yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Grafik diatas menunjukkan nilai yang naik turun dengan trendline naik. Pada grafik ini nilai terbesar terdapat pada kadar aspal 5% dengan nilai 96.95%. Pada hasil penelitian ini didapatkan grafik yang naik turun yang dikarenakan nilai VFA didapatkan dari merata-rata nilai yang diperoleh dari dua benda uji.



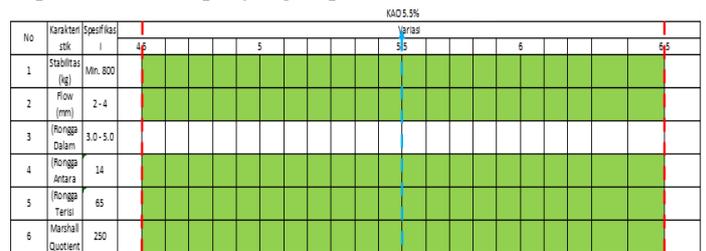
Gambar 7 Nilai MQ (Laston AC-BC) Benda Uji Normal

Dari Gambar 7 di atas menunjukkan nilai Marshall Quotient yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Dengan nilai yang didapat 511.59 pada kadar 4,5%, 493.42 pada kadar aspal 5%, 489.65 pada kadar aspal 5.5%, 539.24 pada kadar aspal 6%, 511.81 pada kadar aspal 6.5%. dengan nilai tertinggi yang di dapat 539.24 kg/mm pada kadar aspal 6%.

Tabel 1 Hasil Pengujian Marshall

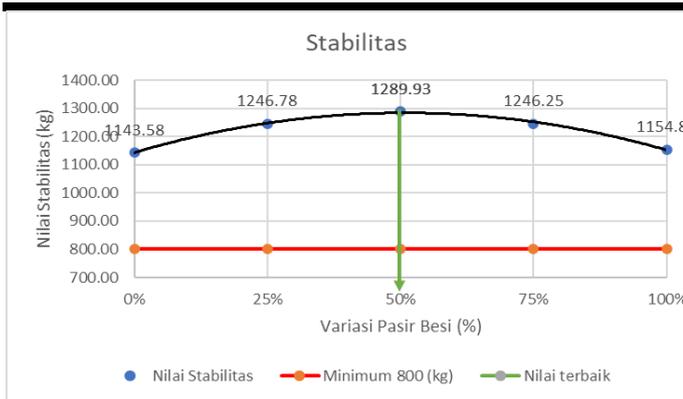
Parameter Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal					Keterangan
		0%	25%	50%	75%	100%	
Stabilitas (kg)	Min. 800	1202.16	1263.60	1311.01	1252.73	1136.72	Memenuhi
Flow (mm)	Min2 - Max4	2.52	2.15	2.49	2.41	2.41	Memenuhi
VIM (%)	Min3 - Max5	2.04	1.48	1.41	1.21	1.24	Tidak Memenuhi
VMA (%)	Min 14	17.03	14.96	15.72	15.09	15.52	Memenuhi
VFA (%)	Min 65	87.96	89.10	90.32	91.33	92.00	Memenuhi
MQ (kg/mm)	Min 250	476.83	588.98	517.40	521.71	469.34	Memenuhi

Dari hasil Tabel 1 nilai yang didapatkan mulai dari Stabilitas, flow, VMA, VFA, MQ memenuhi standar Bina Marga 2018 (Revisi 3). Hanya nilai VIM saja yang tidak memenuhi standar dengan nilai standar min 3 dan max 5. Sehingga di dapatkan kadar aspal yang terpilih sebesar 5.5%.



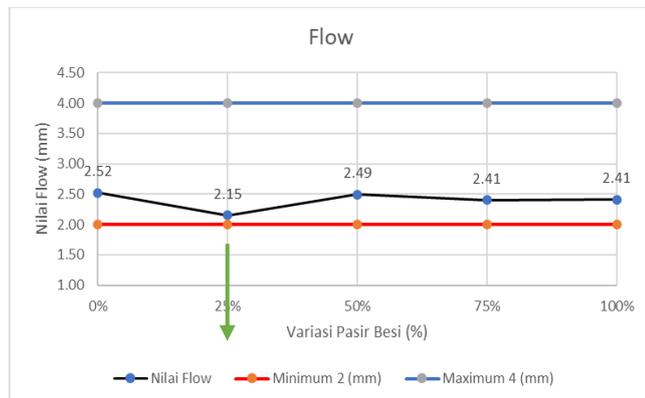
Gambar 8 Penentuan Kadar Aspal Terpilih Benda Uji Normal

Dari Gambar 8 diatas menunjukkan bahwa hasil nilai karakteristik marshall terdapat nilai VIM yang tidak memenuhi spesifikasi. Dari hasil yang didapatkan nilai Kadar Aspal Terpilih adalah 5.5% dengan cara merata-rata kadar aspal terendah yang di dapat dengan kadar aspal tertinggi yang di dapat.



Gambar 9 Nilai Stabilitas (Laston AC-BC) Dengan Subsitusi Pasir Besi

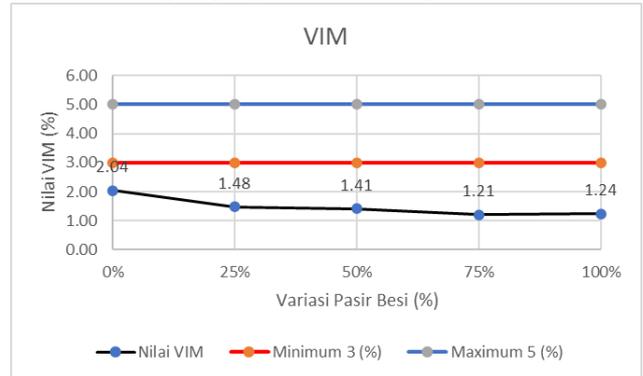
Dari **Gambar 9** menunjukkan nilai stabilitas yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Nilai Stabilitas dengan menggunakan subsitusi pasir besi mengalami peningkatan nilai pada variasi 50% dengan nilai 1289.93 kg. dari grafik di atas di simpulkan jika terlalu banyak atau sedikit pasir besi yang digunakan pada saringan 0.300 mm nilai stabilitas akan mengalami penurunan. Semakin rendah nilai stabilitas maka akan laston akan mudah mengalami *rutting* karena perkerasan bersifat lembek.



Gambar 10 Nilai Flow (Laston AC-BC) Dengan Subsitusi Pasir Besi

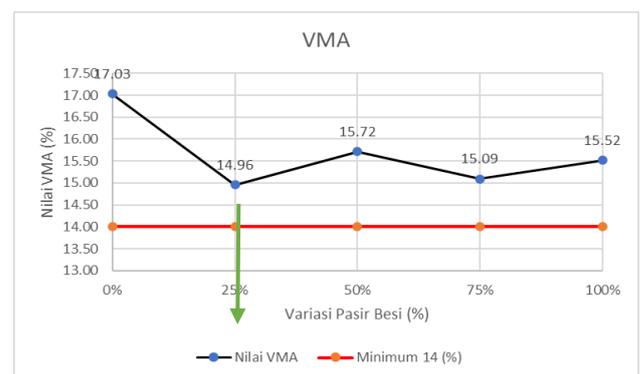
Dari **Gambar 10** menunjukkan nilai Flow yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Dari grafik diatas di dapatkan nilai 2.52 pada variasi 0%, 2.15 pada variasi 25%, 2.49 pada variasi 50%, 2.41 pada variasi 75%, dan 2.41 pada variasi 100%. Nilai terbesar yang didapat yaitu 2.51 mm pada variasi 0%. Dapat disimpulkan subsitusi pasir besi pada saringan 0.300 mm tidak mempengaruhi nilai Flow. Semakin rendah nilai flow maka akan membuat laston menjadi kaku dan mudah retak sedangkan jika semakin tinggi nilai flow maka laston akan mudah mengalami perubahan bentuk sehingga nilai yang baik berada pada variasi 50% dengan nilai 2.49 mm. Nilai VIM tidak ada yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Dengan

trendline yang menurun seiring bertambahnya kadar aspal. Dan didapatkan nilai tertinggi sebesar 2.04% pada variasi 0% sehingga dapat disimpulkan benda uji yang menggunakan subsitusi pasir besi mengalami penurunan nilai setiap bertambahnya pasir besi dari variasi 25% - 75% dan mengalami peningkatan pada variasi 100%. Menurunnya nilai VIM bisa di pengaruhi oleh metode penumbukan yang dilakukan atau pun pengaruh suhu saat penumbukan.



Gambar 11 Nilai VMA (Laston AC-BC) Dengan Subsitusi Pasir Besi

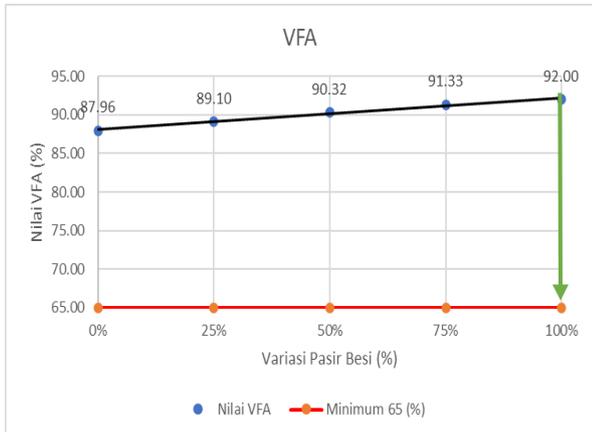
Dari **Gambar 11** menunjukkan nilai VIM tidak ada yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Dengan trendline yang menurun seiring bertambahnya kadar aspal. Dan didapatkan nilai tertinggi sebesar 2.04% pada variasi 0% sehingga dapat disimpulkan benda uji yang menggunakan subsitusi pasir besi mengalami penurunan nilai setiap bertambahnya pasir besi dari variasi 25% - 75% dan mengalami peningkatan pada variasi 100%. Menurunnya nilai VIM bisa di pengaruhi oleh metode penumbukan yang dilakukan atau pun pengaruh suhu saat penumbukan.



Gambar 12 Nilai VMA (Laston AC-BC) Dengan Subsitusi Pasir Besi

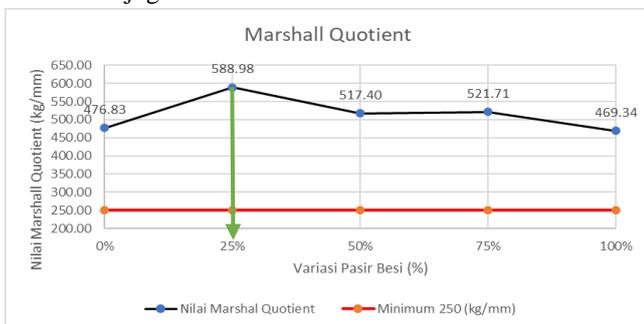
Dari **Gambar 12** menunjukkan nilai VMA yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Dari grafik diatas didapatkan nilai terkecil 14.96% pada variasi 25%. Sehingga dapat di simpulkan subsitusi pasir besi pada saringan 0.300 mm memiliki pengaruh yang baik terhadap laston AC-BC. Nilai VMA yang rendah maka

akan membuat rongga yang cukup untuk aspal dapat melekat pada agregat sedangkan nilai VMA yang terlalu tinggi akan membuat laston tidak tahan lama. Dikarenakan laston AC-BC harus memiliki nilai stabilitas yang tinggi maka penulis mengambil nilai 15.75% pada variasi 50% sebagai nilai yang baik digunakan dan pada variasi 50% nilai yang di dapatkan sudah memenuhi standar.



Gambar 13 Nilai VFA (Laston AC-BC) Dengan Substitusi Pasir Besi

Dari **Gambar 13** menunjukkan nilai VFA yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Pada grafik di atas menunjukkan trenline yang naik sehingga dapat disimpulkan seiring bertambahnya pasir besi nilai VFA juga semakin meningkat. Nilai terbesar yang diperoleh sebesar 92.00% pada variasi 100%. Peningkatan nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan laston yang terkena beban saat berada di suhu tinggi mengalami *bleeding* sedangkan jika nilai VFA terlalu kecil akan menyebabkan laston kurang kedap terhadap air dan udara sehingga membuat laston akan cepat rusak. Dari pertimbangan di atas penulis mengambil kadar 50% dengan nilai 90.32% nilai yang baik digunakan untuk laston AC-BC, serta nilai pada kadar 50% juga sudah memenuhi standar.



Gambar 14 Nilai Marshall Quotient (Laston AC-BC) Dengan Substitusi Pasir Besi

Dari **Gambar 14** di atas menunjukkan nilai *Marshall Quotient* yang memenuhi nilai minimum pada standar sabilitas Bina Marga 2018 (Revisi 3). Pada variasi 25% nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan dengan nilai 588.98

kg/mm. Semakin tinggi nilai MQ maka laston akan menjadi semakin kaku sehingga akan mengakibatkan keretakan pada laston dan jika nilai MQ semakin rendah maka akan mengakibatkan laston akan menjadi plastis mudah terkena deformasi. Dengan mempertimbangkan besar nilai stabilitas yang diperlukan untuk laston AC-BC dan juga dampak dari tinggi rendahnya nilai MQ, penulis mengambil kadar 50% dengan nilai 517.40 kg/mm sebagai nilai yang baik di gunakan untuk laston AC-BC serta nilai pada kadar 50% sudah memenuhi spesifikasi.

Pekerjaan Laston Laps Binder (AC-BC) (Variasi 50%)					
NO	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A. TENAGA					
1.	Pekerja	Jam	0.241	Rp 17,484.00	Rp 4,213.644
2.	Mandor	Jam	0.020	Rp 23,690.00	Rp 476.17
JUMLAH HARGA TENAGA					Rp 4,689.81
B. BAHAN					
1.	Agregat Kasar	M3	0.334	Rp 196,106.00	Rp 65,519.01
2.	Agregat Halus	M3	0.410	Rp 323,946.00	Rp 132,763.76
4.	Pasir Besi	Kg	19.274	Rp 12,500.00	Rp 240,922.50
3.	Filler Semen	Kg	9.588	Rp 1,350.00	Rp 12,943.80
5.	Aspal	Kg	59.160	Rp 12,533.00	Rp 741,452.28
JUMLAH HARGA TENAGA					Rp 1,193,601.36
C. PERALATAN					
1.	Wheel Loader	Jam	0.013	Rp 538,267.20	Rp 6,889.82
2.	AMP	Jam	0.020	Rp 9,940,530.56	Rp 199,804.66
3.	Genset	Jam	0.020	Rp 437,877.68	Rp 8,801.34
4.	Dump Truck	Jam	0.095	Rp 614,377.48	Rp 58,058.67
5.	Asphalt Finisher	Jam	0.013	Rp 298,159.33	Rp 3,726.99
6.	Tendem Roller	Jam	0.029	Rp 519,129.74	Rp 14,847.11
7.	p. Tyre Roller	Jam	0.023	Rp 561,203.11	Rp 12,851.55
8.	Alat Bantu	Ls	1.000	Rp 25,000.00	Rp 25,000.00
JUMLAH HARGA TENAGA					Rp 329,980.15
D. JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)					Rp 1,528,271.32
E. OVERHEAD & PROFIT (10% XD)					Rp 152,827.13
F. HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)					Rp 1,681,098.45

Gambar 15 RAB Laston AC-BC

Dari analisis rencana anggaran biaya dengan substitusi pasir besi pada kadar 50 % didapatkan harga Rp. 1,681,098.45.

4. PENUTUP

Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan dan saran sebagai berikut:

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai analisis substitusi pasir besi sebagai agregat halus pada aspal AC-BC dengan kadar variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian sifat fisik agregat dan aspal memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 3). Agregat kasar memiliki berat jenis 2.7 gr/cm³, kadar air 1.55%, kekerasan 3.98%, dan kehausan 16.16%. Agregat halus memiliki berat jenis 2.6 gr/cm³, penyerapan 0.75%, kadar air 1.74%, dan kadar organik warna no.1 dengan endapan rata-rata. Aspal memiliki titik leleh 48°C, penetrasi 65.4 mm, dan berat jenis 1.03 gr/cc. Pasir besi memiliki berat jenis 4.3 gr/cm³ dengan gradasi saringan no. 50 memiliki presentase tertahan terbanyak dari saringan lainnya.

2. Untuk pembuatan benda uji Laston AC-BC, dilakukan perhitungan job mix dengan menentukan Pb sebesar 5.36%, yang dibulatkan ke atas menjadi 5.5%. Komposisi aspal kemudian diatur menjadi 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, dan 6.5%. Setelah pembuatan job mix sesuai tabel Bina Marga 2018 (Revisi 3), dilakukan pembuatan benda uji untuk mengukur volumetrik, diikuti pengujian Marshall untuk stabilitas dan flow. Hasilnya menunjukkan VIM pada kadar aspal 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, dan 6.5% tidak memenuhi spesifikasi, namun nilai VMA dan VFA memenuhi. Melalui analisis grafik, rentang nilai VIM 5.197% - 5.314% dan 5.719% - 5.847% memenuhi spesifikasi, sehingga dipilih nilai rata-rata 5.256%, yang dibulatkan menjadi 5.3% untuk efisiensi biaya.
3. Kadar optimum pasir besi dalam campuran laston AC-BC adalah 50% berdasarkan hasil pengujian, dengan nilai yang di dapat pada parameter Marshall. Nilai Stabilitas yang terukur adalah 1289.93 kg. Ini menunjukkan kemampuan campuran untuk menahan deformasi dan mempertahankan strukturnya, nilai Flow yang didapat sebesar 2.49 mm dengan nilai yang kecil membuat laston tidak mudah mengalami deformasi akibat terlalu banyak aspal, persentase VIM adalah 1.41%, yang tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. VIM yang rendah biasanya diinginkan untuk menghindari penetrasi air dan meningkatkan kekuatan campuran, presentase VMA adalah 15.75%, yang mencerminkan volume rongga di antara butiran agregat dalam campuran. Angka ini penting untuk memastikan bahwa ada cukup ruang untuk pengikatan agregat dengan aspal, persentase VFA adalah 90.32%, menunjukkan seberapa baik rongga-rongga di antara butiran agregat telah terisi dengan aspal, yang mendukung kualitas permukaan jalan yang baik, nilai Marshall Quotient adalah 517.40 kg/mm, yang mencerminkan kekuatan campuran dalam menghadapi beban lalu lintas. Dengan demikian, sementara campuran ini menunjukkan stabilitas yang baik, parameter VIM perlu diperbaiki untuk memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga 2018 (Revisi 3). Evaluasi lebih lanjut dan penyesuaian mungkin diperlukan untuk memastikan campuran Laston AC-BC sesuai dengan semua persyaratan yang ada.
4. Setelah di lakukan analisa harga substitusi pasir besi dengan kadar 50% terhadap agregat halus saringan 0.300 mm memiliki harga Rp. 7,460.04 untuk setiap benda uji dan harga termurah dimiliki oleh benda uji normal (tanpa substitusi pasir besi) dengan harga Rp. 6,163.70. untuk

analisa harga penerapan di jalan pada pekerjaan pengaspalan persatuan m³ harga untuk substitusi 0% yaitu 1,393,489.44 dan harga untuk substitusi pasir besi 50% yaitu Rp. 1,653,598.45.

Saran

Adapun saran penulis untuk penelitian ini adalah:

1. Setelah dilakukan peninjauan kembali dapat di simpulkan bahwa pada penelitian ini nilai VIM yang di dapat kebanyakan tidak memenuhi spesifikasi yang sudah di tentukan. Penulis menyarankan untuk memperhatikan suhu dan cara penumbukan.
2. Setelah dilakukan peninjauan kembali terhadap penelitian ini didapatkan kejanggalan terhadap nilai VIM yang memiliki peningkatan nilai yang cukup besar pada kadar aspal 5.5% sehingga didapatkan KAO sebesar 5.3% untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mencoba kadar aspal yang lebih tinggi lagi.
3. Disarankan untuk penelitian selanjutnya bisa menggunkan agregat halus selain pasir besi dikarenakan harga pasir besi yang terlalu mahal.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Aly, S. H., & Takdir, T. (2011). Penggunaan pasir besi sebagai agregat halus pada beton aspal lapisan aus. *Jurnal Transportasi*, 11(2), 123–134.
- 2) Badan Standardisasi Nasional Binamarga. (2007). *Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas: Vol. SNI 03-179* (p. 51).
- 3) Bina Marga. (2010). *Spesifikasi umum 2018*. Direktorat Jendral Bina Marga, 2010(Revisi 3), 1–6.
- 4) Geraldin, J., & Makmur, A. (2020). Experimental Study on the Effects of Reclaimed Asphalt Pavement towards Marshall Parameters on Asphalt Course-Wearing Course. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 498(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/498/1/012025>
- 5) Hidayat, N., & Wahyuni, Y. S. (2021). Pemanfaatan Pasir Besi Dan Abu Sekam Padi Pada Campuran Laston AC-BC. 3(1), 329–334.
- 6) Jayantari, M. W., & Eryani, I. G. A. P. (2022). Analisis Perkiraan Debit Aliran Pada Daerah Aliran Sungai Unda Berbasis Sistem Informasi Geografis (Sig). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 26(2), 84. <https://doi.org/10.24843/jits.2022.v26.i02.p01>
- 7) Juniarti, M., Widodo, S., & Akhmadali, D. (2021). Perencanaan Perkerasan Jalan Dengan Metode Bina Marga 2002 dan Metode Bina Marga 2011 (Studi Kasus: Jl. Drs. Moh. Hatta. Sungai Rengas Kec. Sungai Kakap, Kab. Kubu Raya). *Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, Volume 8(No 2), 1–8.

- 8) Karbeka, M., Koly, F. V. L., & Tellu, N. M. (2020). Karakterisasi Sifat Magnetik Kemagnetan Pasir Besi Pantai Aru Kabupaten Alor-NTT. *Lantanida Journal*, 8(2), 96–188.
- 9) Liu, X., Xu, H., Li, B., Zhang, C., Zhang, Y., Zhao, C., & Li, K. (2023). Investigation of the Mechanical Properties of Iron Tailings Concrete Subjected to Dry–Wet Cycle and Negative Temperature. *Materials*, 16(13).
<https://doi.org/10.3390/ma16134602>
- 10) Nurman, L. M. (2022). Pengaruh Penggunaan Pasir Besi Desa Jolosutro Kabupaten Blitar Selatan Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas (HRA Rollet Asphalt). *Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNIVERSITAS ISLAM MALANG*, 8.5.2017, 2003–2005. www.aging-us.com
- 11) Pattipeilohy, J., Sapulette, W., & Lewaherilla, N. M. Y. (2019). Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Desa Waisarisa – Kaibobu. *Manumata Vol 5, No 2 (2019)*, 5(2), 56–64.
- 12) Pratama, G. N. I. P. P., & Najihan, H. F. (2020). The Effect of Beach Sands to Replacement of Fine Aggregate with Addition Filler of Ash Cane on the Asphalt Mixture on Marshall Characteristics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1625(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1625/1/012032>
- 13) Reynaldi Darmawan Senolinggi, L. B. S. dan A. T. M. (2023). Karakteristik Asphalt Concrete-Binder Course Dengan Pasir Silika Banka Sebagai Lapisan AC-BC. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 9(2), 105–114.
- 14) Richard W. V. Uguy, T. S. M. (2022). Metode Pelaksanaan Pekerjaan Pengaspalan Campuran Aspal Panas Ac-Bc (Asphalt Concrete Binder Course). *Jurnal Ilmiah Realtech*, 18(2), 62–63.
- 15) RSNI M-01-2003. (2010). *Diklat Penggunaan Bahan & Alat Untuk Pekerjaan Jalan & Jembatan. Modul Bahan Aspal Untuk Perkerasan Lentur*, 1–84.
- 16) Singh, R., Das, A., Banerjee, P. K., Bhattachryya, K. K., & Goswami, N. G. (2010). *Mineral Processing Technology Mineral Processing Technology*. 1, 1–13.
- 17) Susanto, H. A. (2020). Pengaruh Penggunaan Filler Pasir Besi Dan Semen Dalam Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 21(1), 37.
<https://doi.org/10.30595/techno.v21i1.7230>