



PENGARUH PENGGUNAAN ABU TULANG IKAN CAKALANG PADA PERKERASAN LENTUR

Juliet G Metekohy¹⁾, Christy. Gery. Buyang²⁾, Levina Tumalang³⁾

^{1,2,3)} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pattimura Ambon

Julietmetekohy@gmail.com¹⁾ christ.gery@gmail.com²⁾ levinatumalang@gmail.com³⁾

ARTICLE HISTORY

Received:

April 10, 2025

Revised

June 13, 2025

Accepted:

June 13, 2025

Online available:

June 15, 2025

Keywords:

Flexible Pavement, Compressive Strength, Fish Bone Ash,

*Correspondence:

Name: Juliet G Metekohy

E-mail:

Julietmetekohy@gmail.com

Kantor Editorial

Politeknik Negeri Ambon

Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat

Jalan Ir. M. Putuhena, Wailela-Rumahtiga, Ambon Maluku, Indonesia

Kode Pos: 97234

ABSTRACT

Maluku Province, especially Ambon City, is the area with the largest capture fisheries sector in Indonesia. The amount of skipjack fish production from 2016 reached 1,742.00 tons and in 2020 skipjack fish production has increased to 4,493.46 tons (Ambon City fisheries office data). Large fish production but no management of skipjack fish bone waste, so it is not utilized by both the government and suasta. Skipjack fish bones have a good composition of bioavailability chemical content, the content contained in skipjack fish bones that have been extracted is moisture content 0.33%, ash 99.03%, protein 0.19%, fat 0.22%, and calcium content 83.25%, and phosphorus content 9.65%. Calcium in all samples is calcium phosphor apatite, apatite is a group of phosphorus minerals and calcium minerals that are generally present in rocks so that they can be applied to road building structures that use asphalt pavement. This study was conducted to determine the effect of using skipjack fish bone ash as a filler for asphalt mixture for AC-WC pavement. This is reviewed from the value of Marshall's stability with an experimental method. Some of the tests carried out are specific gravity testing, content weight, broken stone, sieve analysis, sand equivalent value, abrasion, material passing filter no.200 and marshall testing with reference to the specifications of Bina Marga 2018 Division 6. The test will be carried out by making 1 variation of skipjack fish bone ash filler of 3%.

Keywords: Flexible Pavement, Compressive Strength, Fish Bone Ash,

1. PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan prasarana transportasi yang sangat berpengaruh pada perkembangan sosial dan ekonomi masyarakat. Fungsi utama jalan raya adalah sebagai prasarana melayani pergerakan lalu lintas manusia dan barang secara aman, nyaman, cepat dan ekonomis. Di Indonesia khususnya Provinsi Maluku daerah Kota Ambon setiap tahunnya mengalami peningkatan kendaraan (BPS Kota Ambon) yang memungkinkan adanya peningkatan kapasitas jalan dan perkerasan jalan itu sendiri, dalam peningkatan perkerasan ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu kualitas agregat, metode pelaksanaan, dan kualitas aspal.

Dalam hal ini kualitas aspal adalah bahan pengikat campuran yang merupakan faktor utama dan mempengaruhi kinerja campuran beraspal (sukirman,

1999). Ada beberapa usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas aspal sebagai bahan pengikat untuk menghasilkan suatu bahan campuran jalan yang lebih kuat, salah satu cara yaitu meningkatkan mutu aspal sebagai bahan pengikat agregat. Peningkatan mutu aspal dapat dilakukan dengan meneliti material-material baru yang belum digunakan sebelumnya, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai *filler* campuran aspal yang memenuhi syarat dan ketentuan dengan mencoba menguji material baru yang belum pernah diteliti sebelumnya.

Penggunaan tulang ikan dimana kegunaan dan manfaatnya masih belum optimal, khususnya pada Provinsi dengan sumbar daya ikan terbesar seIndonesia. Dalam penelitian ini tulang ikan yang digunakan yaitu tulang ikan cakalang, tulang ikan cakalang memiliki kandungan kadar air ,33%, abu



99,03%, protein 0,19%, lemak 0,22%, serta kadar kalsium 83,25% dan fosfor 9,65% yang mengindikasikan kadar kalsium, abu dan fosfor merupakan apatit kalsium fosfor, apatit adalah kelompok mineral fosfor dan mineral kalsium yang umumnya ada pada batuan (*prinaldi, W. V dan Pipih Suptijah, U.2018*). sehingga penelitian ini akan mencoba memanfaatkan penggunaan abu tulang ikan cakalang sebagai filler bahan pengisi dalam campuran aspal beton. Diketahui berdasarkan data yang dihimpun, jumlah produksi ikan cakalang khususnya daerah Kota Ambon setiap tahunnya meningkat dari 1.742,00 ton pada tahun 2016 sampai pada tahun 2020 mencapai 4.493,46 ton (Dinas Perikanan Kota Ambon). Hal ini mengindikasikan bahwa setiap tahunnya produksi ikan2 cakalang di daerah Kota Ambon mengalami peningkatan, namun pemanfaatan tulang ikan masih sangat minim dalam lingkup masyarakat maupun pemerintah Kota Ambon.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Terminologi

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas (Tanriajeng 2002. Rekayasa jalan raya). Agregat yang dipakai antara lain adalah batu pecah, batu belah, batu kali dan hasil sampling peleburan baja. Sedangkan bahan ikat yang dipakai antara lain adalah aspal, semen dan tanah liat. Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan beberapa bagian yaitu konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), Konstruksi perkerasan komposit (*Composite Pavement*).

2.2 Komponen Penyusun

2.2.1 Agregat Kasar

Menurut SNI 03-1737-1989, agregat kasar yaitu batuan yang tertahan saringan no. 8 (diameter 2,38 mm). Dalam pelaksanaan pengujian campuran aspal, agregat yang digunakan harus dari sumber dan jenis yang sama. Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet dan bebas dari bahan lain yang mengganggu serta memenuhi persyaratan.

2.2.2 Agregat Halus

Menurut SNI 03-1737-1989, agregat halus yaitu batuan yang lolos saringan no. 8 (diameter 2,38 mm) dan tertahan saringan no. 200 (diameter 0,075 mm). Agregat halus harus terdiri dari pasir alam atau pasir buatan atau pasir terak atau gabungan daripada bahan-bahan tersebut. Agregat halus harus bersih, kering, kuat, bebas dari gumpalan-gumpalan lempung dan bahan-bahan lain yang mengganggu serta terdiri dari butir-butir yang bersudut tajam dan mempunyai permukaan yang kasar.

2.2.3 Bahan Pengisi (filler)

Hardiyatmo (2015) dalam Analisisnya perkerasan aspal *filler* adalah material yang lolos saringan no. 200 (diameter 0,075 mm). Bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu.

2.3 Karakteristik *Marshall Test*

Menurut *Asphalt Institute* MS-22 (dalam Hardiyatmo, 2015), suatu campuran aspal beton harus memiliki karakteristik campuran yang baik. Karakteristik tersebut meliputi stabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, daya tahan/durabilitas, kekesatan permukaan, kemudahan pekerjaan, kedap air, dan ketahanan terhadap kelelahan.

2.3.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan campuran beraspal dalam melawan deformasi plastis atau perubahan bentuk permanen akibat beban lalu lintas. Stabilitas juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan lapisan perkerasan dalam melayani beban lalu lintas dengan tanpa mengalami deformasi permanen, seperti gelombang dan timbulnya alur-alur. Stabilitas akan maksimal apabila agregat memiliki permukaan kasar dan volume aspal yang cukup, sehingga adhesi dengan permukaan agregat dapat disebarluaskan dengan merata.

2.3.2 Kelenturan/Fleksibilitas

Kelenturan adalah campuran aspal harus mampu mengakomodasi lendutan permanen dalam batas-batas tertentu dengan tanpa mengalami retak-retak. Untuk mendapatkan kelenturan yang tinggi, maka dapat digunakan agregat yang bergradasi terbuka atau gradasi senjang. Aspal yang digunakan harus lunak (penetrasi tinggi).

2.3.3 Daya Tahan/Durabilitas

Daya tahan atau durabilitas maksudnya daya tahan suatu lapis perkerasan terhadap keausan akibat beban lalu lintas dan pengaruh perubahan cuaca dengan tanpa mengalami pelepasan film aspal dari butiran agregat. Perubahan cuaca dapat mengakibatkan penuaan aspal. Faktor-faktor yang dapat meningkatkan durabilitas campuran agregat aspal adalah kadar aspal tinggi, gradasi agregat rapat, pematatan sempurna, campuran agregat kedap air, serta batuan penyusun lapis perkerasan cukup keras.

2.3.4 Kekesatan Permukaan

Kekesatan permukaan adalah lapisan permukaan aspal harus mempunyai kekesatan yang cukup tinggi, sehingga menjamin keselamatan pengguna jalan, terutama apabila dalam kondisi basah. Untuk mempertinggi kekesatan maka jadar aspal harus tepat dan permukaan agregat harus kasar.

2.3.5 Kemudahan Pekerjaan

Kemudahan dalam pekerjaan adalah campuran aspal harus mudah dikerjakan dalam pelaksanaan di lapangan termasuk penghamparan dan pematadatannya.

2.3.6 Kedap Air



Kedap air maksudnya adalah kekedapan campuran beraspal terhadap masuknya air dan udara. Hal ini diperlukan untuk mencegah lolosnya air dan kontak langsung aspal dengan udara. Air dan udara akan mempercepat penuaan aspal. Selain itu, air juga dapat menyebabkan pengelupasan lapis film aspal yang berada di permukaan agregat.

2.3.7 Ketahanan Terhadap Keleahan

Ketahanan terhadap keleahan adalah ketahanan campuran beraspal dalam menahan lendutan yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang berulang-ulang, sehingga campuran tidak cepat mengalami keretakan.

2.4 Pengujian Volumetrik

2.4.1 Berat Jenis Bulk Dari Total Agregat

Berat jenis yang dalam menentukan beratnya menggunakan berat kering oven agregat, sedangkan dalam menentukan volumenya, volume pori-pori permukaan agregat ikut diperhitungkan. Dalam menentukan nilai berat jenis bulk dari total agregat dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{sb\ total} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n + G_{se} + G_{bb}} \quad (1)$$

Keterangan :

$G_{sb\ total}$: Berat jenis bulk agregat gabungan (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Presentase berat dari masing-masing agregat (%) $G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}$: Berat jenis bulk masing-masing agregat (gr/cc)

2.4.2 Berat Jenis Semu Dari Total Agregat

Untuk menentukan nilai berat jenis semu dari total agregat dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{se} = \frac{G_{sb\ total}}{2} \quad (2)$$

Keterangan :

$G_{se\ total}$: Berat jenis semu agregat gabungan (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Presentase berat dari masing-masing agregat (%) $G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}$

G_{sa3} : Berat jenis semu masing-masing agregat (gr/cc)

2.4.3 Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis agregat adalah berat jenis dari agregat termasuk seluruh rongga pori dalam partikel agregat, tidak termasuk rongga pori yang menyerap atau terisi oleh aspal. Berikut rumus untuk menentukan berat jenis efektif agregat:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_{se} + P_b}{G_{se} + G_b}} \quad (3)$$

Keterangan :

G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

P_{mm} : Persentase berat campuran (=100)

P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

G_{se} : Berat jenis semu efektif (gr/cc)

G_b : Berat jenis aspal (gr/cc)

2.4.4 Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Untuk menentukan berat jenis bulk campuran padat dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \quad (4)$$

Keterangan :

G_{mb} : Berat jenis campuran setelah dipadatkan (gr)

W_a : Berat di udara (gr)

V_{bulk} : Volume campuran setelah pemasakan (cc)

2.4.5 Kepadatan

Kepadatan adalah tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai kepadatan dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$G_{mb} = \frac{W_m}{W_{mssd} - W_{mpw}} \quad (5)$$

Keterangan:

W_m : Berat benda uji setelah dipadatkan (gr)

W_{mssd} : Berat benda uji ssd setelah dipadatkan (gr)

W_{mpw} : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)

2.4.6 Stabilitas

Nilai dari stabilitas benda uji didapatkan dari pembacaan arloji stabilitas saat pengujian dengan alat *Marshall*. Nilai yang ditunjukkan pada arloji perlu dikonversi terhadap alat *Marshall*. Hasil pembacaan di arloji stabilitas harus dikalikan dengan nilai kalibrasi providing ring yang digunakan pada alat *Marshall*. Berikut rumus untuk mencari nilai stabilitas:

$$S = p \times q \quad (6)$$

Keterangan:

S : Nilai stabilitas (kg)

P : Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

Q : Angka koreksi tebal benda uji

2.4.7 Keleahan (flow)

Nilai keleahan ditunjukkan oleh jarum arloji pembacaan keleahan pada alat *Marshall*. Nilai keleahan didapat dari hasil mengurangi rerata diameter awal benda uji sebelum pengujian dengan rerata diameter benda uji setelah pengujian.

2.4.8 VIM (Void In the Mix)

Rongga udara dalam campuran (VIM) 3 – 5% sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010. VIM terdiri dari ruang udara diantara partikel agregat yang terlapisi aspal. Nilai VIM dalam campuran aspal dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \quad (7)$$



Keterangan:

VIM : Rongga udara dalam campuran (%)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum setelah pemanasan (gr/cc)

Gmb : Berat jenis bulk campuran setelah pemanasan (gr/cc)

2.4.9 VMA (Void in Mineral Aggregate)

VMA adalah rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Nilai VMA dalam campuran aspal dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$VMA = \frac{100(Gs-Gmb)+Gmb \times Pb}{Gs} \quad (8)$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

Gmb : Berat jenis bulk campuran setelah pemanasan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis bulk dari total agregat (gr/cc)

Pb : Presentase kadar aspal terhadap berat total campuran (%)

2.4.10 VFA (Void Filled with Asphalt)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persentase rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Nilai VFA dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$VFA = \frac{(VMA-VIM)}{VMA} \times 100 \quad (9)$$

Keterangan:

VFA : Presentase rongga udara yang terisi aspal (%)

VMA : Presentase rongga udara pada mineral agregat (%)

VIM : Presentase rongga udara pada campuran (%)

2.4.11 Marshall Quotient (MQ)

Nilai *Marshall* quotient disyaratkan lebih besar dari 250 kg/mm sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010. Nilai *Marshall* quotient dalam campuran aspal dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (10)$$

Keterangan:

MQ : Nilai *Marshall* quotient (Kg/mm)

S : Nilai stabilitas (kg)

F : Nilai flow (mm)

2.5 Tulang Ikan Cakalang

Ikan cakalang adalah ikan bernilai komersial tinggi, dan dijual dalam bentuk segar, beku, atau diproses sebagai ikan kaleng, ikan kering, atau ikan asap. Dalam bahasa Jepang, cakalang disebut katsuo atau juga skipjack tuna (Morrison 1958 dalam Maulida 2005 Fortifikasi Tepung Tulang Cakalang Sebagai Sumber Kalsium). Ikan cakalang diproses

untuk membuat katsuobushi yang merupakan bahan utama dashi (kaldu ikan) untuk masakan Jepang. Di Manado, dan juga Maluku, ikan cakalang diawetkan dengan cara pengasapan, disebut cakalang fufu (cakalang asap).

Sumberdaya cakalang dimanfaatkan oleh kalangan menengah ke atas. Adapun pemanfaatan tulang ikan cakalang selain dagingnya yaitu tulang untuk membuat tepung tulang ikan, Komposisi tulang ikan umumnya terdiri dari 26% protein, 5% lemak, 22,96% kalsium, dan 10,25% fosfor (Morrison 1958 dalam Maulida 2005 Fortifikasi Tepung Tulang Cakalang Sebagai Sumber Kalsium



Sumber : Penulis, 2024

Gambar 1 : Ikan Cakalang

Dapat disimpulkan pada gambar 1 di atas adalah ikan cakalang yang nanti akan diambil tulang ikannya sebagai bahan penelitian

Pemanfaatan tulang ikan khususnya ikan cakalang sangat tidak produktif di kota ambon, dari survei di beberapa perusahaan ikan kecil maupun besar dan juga pemerintah tidak ada pengelolaan terhadap tulang ikan yang terkait semua limbah tulang ikan cakalang di buang begitu saja atau beberapa perusahaan menyediakan tempat untuk di buang jauh dari kota Ambon, mengingat tulang ikan mengandung zat kapur yang tinggi dan sulit terurai, peneliti menggunakan objek tulang ikan sebagai bahan pengisi *filler* pada perkerasan aspal AC-WC.



Sumber : penulis, 2024

Gambar 2 : Tulang Ikan Cakalang

Dapat disimpulkan pada gambar 2 di atas adalah ikan cakalang yang sudah diambil tulangnya sebagai bahan pengisi *filler* pada perkerasan AC-WC.

3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Ambon. Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eksperimen terhadap



beberapa benda uji dari berbagai kondisi perlakuan yang baik. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah studi eksperimental yang dilakukan dengan cara menguji sesuatu hal yang masih sangat baru untuk mendapatkan hasil yang ditargetkan, yaitu dengan pembuatan campuran aspal yang menggunakan abu tulang ikan cakalang sebagai *filler*.

Abu tulang ikan yang digunakan adalah tulang ikan cakalang yang diperoleh dari pasar mardika ambon. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*) aspal dan pengujian benda uji menggunakan *Marshall*. Jenis penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder.

3.1 Teknik dan Tahapan Pengujian.

Berikut ini merupakan rancangan tahapan pengujian :

3.1.1. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan dilakukan yaitu bahan serta alat-alat yang digunakan pada saat penelitian. Alat-alat yang disediakan pada laboratorium dan bahan yang disiapkan meliputi agregat kasar yang diambil dari batu pecah bel, agregat halus dari pasir gunung, dan *filler* dari sisa tulang ikan cakalang.

3.1.2 Pengujian Agregat

1) Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar meliputi pengujian analisa saringan, pengujian berat jenis dan pengujian penyerapan, pengujian batu pecah, keausan agregat, lolos saringan No.200, berat isi.

2) Pengujian Agregat Halus

Meliputi pengujian analisa saringan, pengujian berat jenis dan penyerapan, nilai setara pasir.

3) Pengujian Bahan Pengisi (*Filler*)

Meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan, analisis saringan terhadap tulang ikan cakalang.

3.1.3 Pengujian Kadar Aspal

3.1.4 Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar aspal optimum yang akan digunakan dalam perencanaan campuran dan pembuatan benda uji.

3.1.5 Perencanaan Campuran

KAO digunakan sebagai kadar aspal dalam pengujian penggantian material *filler* secara full. Kemudian dilanjutkan dengan penentuan variasi kadar *filler* tulang ikan cakalang, sebesar 3% (maksimum persentase *filler* terhadap berat campuran).

3.1.6 Pembuatan Benda Uji

Tahapan pembuatan uji adalah menyiapkan semua peralata pengujian dan bahan yang dibutuhkan, menimbang berat bahan sesuai dengan variasi campuran yang telah direncanakan. Memanaskan aspal hingga mencapai suhu 110°C. Dilanjutkan dengan proses penyiapan material gradasi yang telah

ditimbang total 1200 gram dan campur semua dalam panic dan panaskan.

Setelah campuran aspal telah mencapai suhu, kemudian di campur aspal dan agregat tersebut hingga tercampur rata. Kemudian tahap akhir dari proses ini adalah menyiapkan cetakan benda uji beserta penumbuk dan plat.

Selanjutnya melakukan penumbukan dengan alat sebanyak 75 kali tumbukan pada bagian atas dan bawah cetakan. Setelah penumbukan selesai, benda uji dieluarkan dari cetakan dan diberi nama pengenal pada cetakan yang menandakan identitas benda uji, menimbang benda uji (setelah mengeras) untuk mendapatkan benda kering.

Setelah benda uji direndam, benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan permukaannya menggunakan kain lap hingga dalam keadaan SSD. Kemudian dilakukan penimbangan benda uji untuk mendapatkan berat dalam keadaan SSD, dan juga menimbang benda uji dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.

3.1.7 Pengujian Karakteristik Marshall

Pengujian campuran aspal beton capuran panas untuk mengetahui Marshall dari campuran yang meliputi rongga dalam campuran (VIM), rongga terisi aspal (VFA), rongga diantara mineral agregat(VMA), stabilitas (*stability*), peleahan (*flow*) dan Marshall Quotient (MQ) seperti yang disyaratkan dalam RSNI-M06-2004 difokuskan hanya pada 3 nilai karakteristik Marshall yaitu nilai Stabilitas (*stability*), keleahan (*flow*) dan *Marshall Quotient*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.5 Analisis Data Pengujian Marshall

4.5.1 Stabilitas

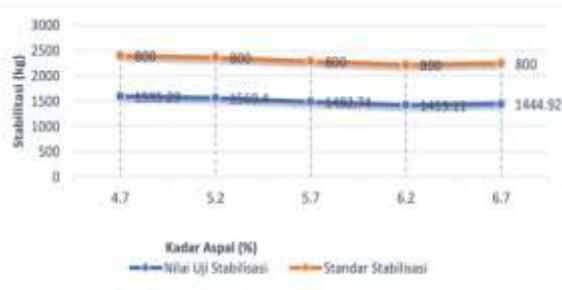
Pada pengujian stabilitas pada seluruh range kadar aspal awal (4,7%, 5,2%, 5,7%, 6,2%, 6,7%) diketahui memenuhi persyaratan min 800. Nilai stabilitas merupakan nilai beban maksimum yang dapat dipikul oleh spesimen padat di suhu standar untuk menahan deformasi. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat. Penggunaan aspal dalma campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran. Penambahan aspal di atas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan getas.



Tabel 1 Hasil Pengujian Stabilitas.

| Notasi | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Nilai Stabilitas (kg) |
|--------|-------------|-----------------|-----------------------|
| I | 1 | 4,7 | 1309,2 |
| | 2 | | 1811,8 |
| | 3 | | 1664,9 |
| | Rata – rata | | 1595,29 |
| II | 1 | 5,2 | 1518,0 |
| | 2 | | 1645,3 |
| | 3 | | 1518,0 |
| | Rata – rata | | 1560,40 |
| III | 1 | 5,7 | 1482,74 |
| | 2 | | 1439,6 |
| | 3 | | 1452,7 |
| | Rata – rata | | 1482,74 |
| | 1 | 6,2 | 1375,7 |
| | 2 | | 1547,3 |
| | 3 | | 1334,3 |
| | Rata – rata | | 1419,11 |
| IV | 1 | 6,7 | 1530,2 |
| | 2 | | 1400,4 |
| | 3 | | 1404,1 |
| | Rata – rata | | 1444,92 |

Sumber : Penulis, 2024



Sumber : Penulis, 2024

Gambar 3 Grafik Hubungan Stabilitas dan Kadar Aspal

Pada penelitian ini hasil pengujian dengan kadar aspal 4,7% didapatkan nilai stabilitas marshall tertinggi yaitu 1595,29 kg, kemudian secara berurut kadar aspal 5,2 % memiliki nilai stabilitas 1560,40 kg ; kadar aspal 5,7% memiliki nilai stabilitas sebesar

1482,74 kg kadar aspal 6,2% memiliki nilai stabilitas 1419,11 kg ; terlihat dalam hasil pengujian bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai stabilitas makin kecil.

4.5.2 Kepadatan (Density)

Pengujian kepadatan pada seluruh kadar aspal 4,7%. 5,2%, 5,7%, 6,2%, 6,7% memiliki hasil uji secara berurut yaitu 2,24 ; 2,219 ; 2,212 ; 2,248 ; 2,213.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kepadatan (Density).

| Notasi | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Nilai Kepadatan (gr/cc) |
|--------|-------------|-----------------|-------------------------|
| I | 1 | 4,7 | 2,166 |
| | 2 | | 2,255 |
| | 3 | | 2,251 |
| | Rata – rata | | 2,224 |
| II | 1 | 5,2 | 2,191 |
| | 2 | | 2,218 |
| | 3 | | 2,247 |
| | Rata – rata | | 2,219 |
| III | 1 | 5,7 | 2,218 |
| | 2 | | 2,218 |
| | 3 | | 2,200 |
| | Rata – rata | | 2,212 |
| | 1 | 6,2 | 2,206 |
| IV | 2 | | 2,207 |
| | 3 | | 2,330 |
| | Rata - rata | | 2,248 |
| | 1 | 6,7 | 2,240 |
| | 2 | | 2,228 |
| | 3 | | 2,171 |
| | Rata - rata | | 2,213 |

Sumber : Penulis, 2024



Sumber : Penulis, 2024

Gambar 4. Hubungan Kepadatan (Density) dan Kadar Aspal.

Kepadatan merupakan tingkat kerapatan suatu campuran beraspal yang telah melalui proses pemadatan. Faktor – faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah gradasi agregat, kadar aspal, berat jenis agregat, kualitas dan proses pemadatan yang meliputi suhu serta jumlah tumbukan. Semakin besar nilai kepadatan maka campuran tersebut semakin mampu menahan beban lalu lintas. Dalam pengujian kepadatan (*density*), dapat terlihat bahwa kepadatan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kadar aspal. Namun pada kadar aspal 6,2% nilai kepadatan kembali naik di angka 2,248 gr/cc, dan kemudian nilai kepadatan menurun di kadar aspal rencana 6,7%.

4.5.3 Kelelahan (Flow)

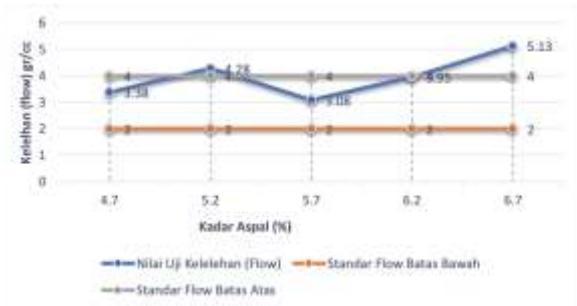
Flow atau kelelahan menunjukkan besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi pada lapis keras akibat menahan beban yang diterima. Pada pengujian kelelahan dengan batas nilai persyaratan minimal 2 – 4 mm, diketahui bahwa untuk kadar aspal 5,2% dan 6,7% tidak memenuhi standar persyaratan. Hasil pengujian kelelahan (*flow*) yang tidak memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6, masing – masing sebesar 4,28 gr/cc dan 5,13 gr/cc.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kelelahan (Flow).

| Notasi | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Nilai Kelelahan (gr/cc) |
|--------|-------------|-----------------|-------------------------|
| I | 1 | 4,7 | 4,75 |
| | 2 | | 2,39 |
| | 3 | | 3,00 |
| | Rata – rata | | 3,38 |
| II | 1 | 5,2 | 4,50 |

| | | | |
|-----|---|-------------|------|
| | 2 | | 3,85 |
| | 3 | | 4,50 |
| | | | 4,28 |
| III | 1 | 5,7 | 3,43 |
| | 2 | | 3,00 |
| | 3 | | 2,80 |
| | | | 3,08 |
| IV | 1 | 6,2 | 5,80 |
| | 2 | | 3,45 |
| | 3 | | 2,60 |
| | | Rata – rata | 3,95 |
| V | 1 | 6,7 | 5,85 |
| | 2 | | 4,05 |
| | 3 | | 5,50 |
| | | Rata – rata | 5,13 |

Sumber : Penulis, 2024



Sumber: Penulis, 2024

Gambar 5. Grafik Hubungan Kelelahan (Flow) dan Kadar Aspal

Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan nilai stabilitas. Jika mengukur pada nilai hasil pengujian nilai stabilitas yang mana melebihi standar minimal 800 kg pada seluruh kadar aspal, dibandingkan dengan dua (2) nilai kelelahan (*flow*) pada kadar aspal 5,2% dan 6,7% yang tidak memenuhi standar maka campuran AC-WC dengan menggunakan *filler* abu tulang ikan cakalang akan cenderung kaku dan getas.



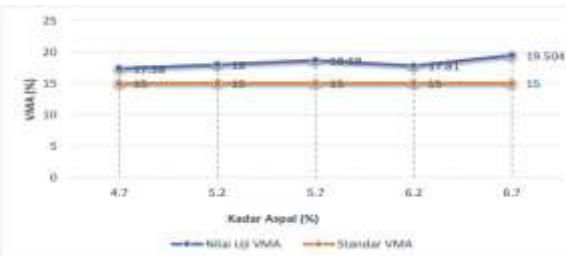
4.5.4 Void in Mineral Agregat (VMA)

Pengujian VMA dengan nilai persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 adalah minimal 15%, diketahui pada seluruh kadar aspal awal 4,7%, 5,2%, 5,7%, 6,2%, 6,7% telah memenuhi persyaratan. VMA (*Void Mineral Agregat*) merupakan rongga atau ruang hampa yang berada di antara partikel agregat dalam campuran yang dipadatkan. Kuantitas rongga udara memiliki pengaruh dalam suatu campuran.

Tabel 4. Hasil Pengujian Void in Mineral Agregat (VMA)

| Notasi | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Nilai VMA (%) |
|--------|-------------|-----------------|---------------|
| I | 1 | 4,7 | 19,54 |
| | 2 | | 2,39 |
| | 3 | | 3,00 |
| | Rata – rata | | 17,38 |
| II | 1 | 5,2 | 19,02 |
| | 2 | | 18,02 |
| | 3 | | 16,97 |
| | Rata – rata | | 18,00 |
| III | 1 | 5,7 | 18,47 |
| | 2 | | 18,45 |
| | 3 | | 19,11 |
| | Rata - rata | | 18,68 |
| | 1 | 6,2 | 19,34 |
| | 2 | | 19,29 |
| | 3 | | 14,79 |
| | Rata – rata | | 17,81 |
| | 1 | 6,7 | 18,54 |
| IV | 2 | | 18,95 |
| | 3 | | 21,03 |
| | Rata – rata | | 19,504 |

Sumber : Penulis, 2024



Sumber : Penulis, 2024

Gambar 6 Grafik Hubungan VMA dan Kadar Aspal

Jika VMA lebih kecil dari standar minimal 15%, maka campuran akan mengalami durabilitas. Namun tentu saja dalam pengujian ini *filler* abu tulang ikan cakalang dapat memberikan hasil baik pada nilai rongga diantara mineral agregat (VMA), hal tersebut dikarenakan hasil pengujian lebih dari angka 15% menurut yang distandarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Kuantitas rongga udara pengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika nilai VMA dibawah standar maka akan mengalami durabilitas.

4.5.5 Void Filled Bitumen (VFB)

VFB menyatakan persentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan. Nilai VFB dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu pemadatan, jenis dan kadar aspal, dan gradasi agregatnya. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 diketahui bahwa syarat nilai minimal untuk VFB adalah 65. Dengan merujuk pada hasil pengujian dalam Table 4.24 terlihat bahwa untuk seluruh kadar aspal tidak memenuhi persyaratan yaitu dibawah angka 65%

Tabel 5. Hasil Pengujian Void Filled Bitumen (VFB).

| Notasi | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Nilai VFB (%) |
|--------|-------------|-----------------|---------------|
| I | 1 | 4,7 | 38,30 |
| | 2 | | 47,99 |
| | 3 | | 47,54 |
| | Rata – rata | | 44,61 |
| II | 1 | 5,2 | 45,46 |
| | 2 | | 48,57 |
| | 3 | | 52,24 |
| | Rata – rata | | 48,76 |
| III | 1 | 5,7 | 53,28 |
| | 2 | | 53,35 |
| | 3 | | 51,09 |
| | Rata – rata | | 52,57 |
| | 1 | 6,2 | 56,20 |
| | 2 | | 56,37 |
| | 3 | | 77,67 |

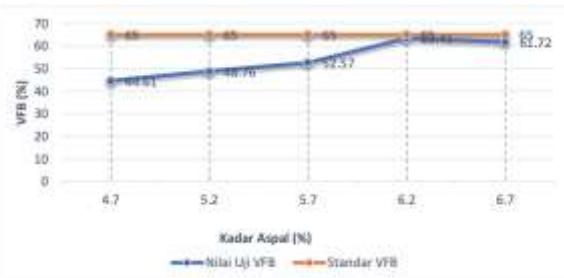


| | | Rata – rata | 63,41 |
|----|---|-------------|-------|
| IV | 1 | 6,7 | 65,47 |
| | 2 | | 63,73 |
| | 3 | | 55,95 |
| | | Rata – rata | 61,72 |

Sumber : Penulis, 2024

| | | | |
|----|-------------|------|------|
| | 3 | | 3,30 |
| IV | Rata – rata | 6,73 | |
| | 1 | 6,7 | 6,40 |
| | 2 | | 6,87 |
| | 3 | | 9,26 |
| | Rata – rata | 7,51 | |

Sumber : Penulis, 2024



Sumber : Penulis, 2024

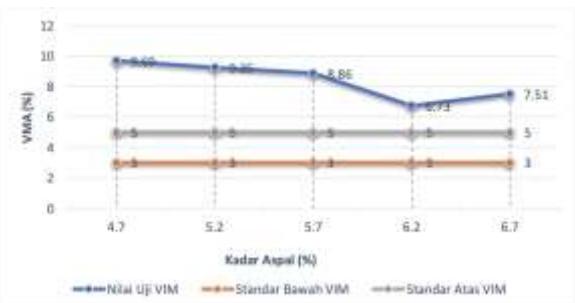
Gambar 7. Grafik Hubungan Nilai VFB dan Kadar Aspal

4.5.6 Void in the Mix (VIM)

Berdasarkan hasil pengujian diketahui nilai VIM untuk seluruh kadar aspal (4,7% ; 5,2% ; 5,7%, 6,2% ; 6,7%) masing – masing secara berurutan adalah sebagai berikut 9,69% ; 9,25% ; 8,86% ; 6,73% ; 7,51%.

Tabel 6. Hasil Pengujian Void in The Mix (VIM).

| Notasi | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Nilai VIM (%) |
|--------|-----------|-----------------|---------------|
| I | 1 | 4,7 | 12,06 |
| | 2 | | 8,44 |
| | 3 | | 8,58 |
| | | Rata – rata | 9,69 |
| II | 1 | 5,2 | 10,37 |
| | 2 | | 9,27 |
| | 3 | | 8,10 |
| | | 9,25 | |
| III | 1 | 5,7 | 8,63 |
| | 2 | | 8,61 |
| | 3 | | 9,35 |
| | | | 8,86 |
| | 1 | 6,2 | 8,47 |
| | 2 | | 8,42 |



Sumber : Penulis, 2024

Gambar 8. Grafik Hubungan VIM dan Kadar Aspal.

Seluruh nilai VIM (Void in The Mix) terlihat di atas batas maksimal VIM. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 nilai VIM yang baik berada di angka 3% - 5%. Hasil yang tinggi di atas batas maksimal mengindikasikan banyaknya rongga dalam campuran dan akan mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah masuk rongga – rongga dan aspal akan lebih mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran dan pengelupasan permukaan pada lapis perkerasan.

4.5.7 Marshall Quotient (MQ)

Marshall quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan flow. Nilai marshall quotient akan memberikan gambaran terhadap fleksibilitas campuran. Berdasarkan hasil pengujian marshall quotient (MQ) diketahui bahwa untuk kadar aspal 4,7% ; 5,2% ; 5,7% ; 6,2% ; 6,7% secara berurut memiliki nilai *Marshall Quotient* (MQ) 529,55 kg/mm; 367,33 kg/mm; 484,10 kg/mm; 399,63 kg/mm; 287,55 kg/mm.



Tabel 7. Hasil Pengujian Marshall Quotient (MQ).

| Notasi | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Nilai MQ (%) |
|--------|-------------|-----------------|--------------|
| I | 1 | 4,7 | 275,6 |
| | 2 | | 758,1 |
| | 3 | | 555,0 |
| | Rata – rata | | 529,55 |
| II | 1 | 5,2 | 337,3 |
| | 2 | | 427,3 |
| | 3 | | 337,3 |
| | Rata – rata | | 367,33 |
| III | 1 | 5,7 | 453,6 |
| | 2 | | 479,9 |
| | 3 | | 518,8 |
| | Rata – rata | | 484,10 |
| IV | 1 | 6,2 | 237,2 |
| | 2 | | 448,5 |
| | 3 | | 513,2 |
| | Rata – rata | | 399,63 |
| IV | 1 | 6,7 | 261,6 |
| | 2 | | 345,8 |
| | 3 | | 255,3 |
| | Rata – rata | | 287,55 |

Sumber : Penulis, 2024



Sumber : Penulis, 2024

Gambar 9. Grafik Hubungan MQ dan Kadar Aspal.

Angka – angka hasil pengujian ini sudah memenuhi standar nilai minimum pada Marshall Quotient (MQ) menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 250 kg/mm. Apabila nilai MQ lebih kecil dari yang disyaratkan maka akan mengakibatkan campuran aspal menjadi mudah berubah bentuk (*washboarding*, *rutting*, dan *bleeding*) apabila menahan beban lalu lintas.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian melalui pengujian laboratorium, maka dapat diketahui nilai karakteristik marshall menggunakan abu tulang ikan cakalang sebagai *full filler* 3% yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 pada seluruh kadar aspal (4,7% ; 5,2% ; 5,7% ; 6,2% ; 6,7%) adalah nilai stabilitas, kepadatan, *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Marshall Quotient* (MQ). Sedangkan untuk nilai Keleahan (*Flow*), *Void Filled Bitumen* (VFB), dan *Void in The Mix* (VIM) tidak memenuhi standar nilai yang diisyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Artinya abu tulang ikan cakalang tidak dapat digunakan sebagai *full filler* dalam campuran perkerasan AC-WC.

5.2. Saran

1. Pengujian lanjutan menggunakan abu tulang ikan cakalang dapat digunakan pada jenis perkerasan selain AC-WC.
2. Pengujian berkelanjutan dapat menggunakan jenis tulang ikan lainnya dengan mengetahui kandungan senyawa setara *filler* yang terkandung dalam jenis ikan tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Z. Z., Wesli, W., & Akbar, S. J. (2017). Penggunaan Abu Batu Bara Sebagai *Filler* Pada Campuran Aspal Beton AC-BC. *Teras Jurnal*, 6(2), 121-130.
- Anonim SK SNI M-58-1990-03. "Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall". Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim RSNI M-01-2003. "Metode Pengujian Campuran Aspal Panas dengan Alat Marshall". Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim SNI ASTM C136:2012. "Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar". Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim SNI 03-1968-1990. "Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar". Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim SNI 1969:2016. "Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air oleh Agregat Kasar". Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim SNI 03-6723-2002. "Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Beraspal". Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim SNI 2460:2014. "Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah atau yang Telah Dikalsinasi untuk digunakan dalam Beton". Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.



- Fauziah, M., Berlian, K., & Fauzan, R. (2014, August). Pengaruh Abu Ampas Tebu sebagai *Filler* Pengganti terhadap Karakteristik *Marshall* Campuran Superpave. Yogyakarta. The 17th FSTPT International Symposium Jember University.
- Jaya, T. M., Bahri, S., & Razali, M. R. (2018). STUDI PENGGUNAAN PASIR LAUT SEBAGAI *Filler* PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC). *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 15-20.
- Mahnaz, N., Huda, N., & Ariffin, F. (2017). Development of calcium supplement from fish bone wastes of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and characterization of nutritional quality. *International Food Research Journal*, 24(6), 2419-2426.
- Nemati, M., Kamilah, H., Huda, N., & Ariffin, F. (2016). In vitro calcium availability in bakery products fortified with tuna bone powder as a natural calcium source. *International journal of food sciences and nutrition*, 67(5), 535-540.
- Phiraphinyo, P., Taepakpurenat, S., Lakkhanatinaporn, P., Suntornsuk, W., & Suntornsuk, L. (2006). Physical and chemical properties of fish and chicken bones as calcium source for mineral supplements. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 28(2).
- Putra, G. P. (2012). PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK ARANG TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI BAHAN PENGISI (*Filler*) TERHADAP KARAKTERISTIK LASTON AC-WC.
- Sukirman, S. (2003). Beton Aspal Campuran Panas, Edisi Kedua. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.