PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL BATU KALI LOKAL KABUPATEN BELU DENGAN PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC- WC

Benediktus O.S.S Seran, Dosen Pembimbing 1 : Eding
Iskak Imananto , Dosen Pembimbing 2 : Annur Ma'ruf

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: bennftb@gmail.com

ABSTRACT

The development of road infrastructure in Indonesia demands the efficient use of local materials to reduce production costs while maintaining pavement construction quality. Belu Regency, East Nusa Tenggara, possesses abundant local river stone deposits in the Talau River Quarry, which have not yet been optimally utilized for high-performance asphalt concrete mixtures. On the other hand, local agricultural waste in the form of rice husk ash (RHA) is abundant and underutilized, despite containing high silica (SiO_2) content and pozzolanic properties that make it a potential alternative filler material.This study aims to analyze the Marshall characteristics of Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) mixtures utilizing local river stone aggregates from Belu Regency with the substitution of rice husk ash as a filler relative to the total aggregate weight. Laboratory testing was conducted based on the 2025 General Specifications of Directorate General of Highways (Bina Marga) using the Marshall test method to determine the Optimum Asphalt Content (OAC) and evaluate mechanical parameters including Stability, Flow, Voids in Mix (VIM), Voids in Mineral Aggregate (VMA), Voids Filled with Asphalt (VFA), and Marshall Quotient (MQ). The rice husk ash substitution variations tested were 0%, 30%, 50%, 60%, and 90%. The findings of this study are expected to provide technical references for utilizing local materials and environmentally friendly agricultural waste in border region road

Keywords: *AC-WC, Belu River Stones, Rice Husk Ash, Marshall Characteristics, Regression Analysis.*

ABSTRAK

Perkembangan infrastruktur jalan di Indonesia menuntut efisiensi penggunaan material lokal demi menekan biaya produksi sekaligus menjaga kualitas konstruksi perkerasan. Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur, memiliki potensi deposit batu kali lokal yang cukup melimpah di Quarry Sungai Talau namun belum dimanfaatkan secara optimal untuk campuran perkerasan beraspal tinggi. Di sisi lain, limbah abu sekam padi hasil pertanian lokal melimpah dan belum banyak diolah, padahal mengandung kadar silika (SiO_2) tinggi serta sifat pozzolanik yang potensial sebagai bahan pengisi (*filler*) alternatif.Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik Marshall pada campuran lapis aus beton aspal (AC-WC) yang menggunakan agregat batu kali lokal Kabupaten Belu dengan substitusi abu sekam padi sebagai *filler* terhadap berat total agregat. Pengujian laboratorium dilakukan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2025 menggunakan metode Marshall untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan mengevaluasi parameter mekanis yang meliputi Stabilitas, *Flow*, *Voids in Mix* (VIM), *Voids in Mineral Aggregate* (VMA), *Voids Filled with Asphalt* (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ). Variasi substitusi abu sekam padi yang diuji meliputi 0%, 30%, 50%, 60%, dan 90%. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan acuan teknis pemanfaatan material lokal dan limbah pertanian yang ramah lingkungan dalam pembangunan infrastruktur jalan di wilayah perbatasan.

Kata kunci: *AC-WC, Batu Kali Belu, Abu Sekam Padi, Karakteristik Marshall, Analisis Regresi*.

1. PENDAHULUAN

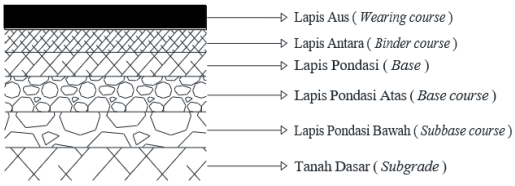
Kabupaten Belu merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki potensi besar dalam pengembangan infrastruktur jalan. Namun, saat ini masih banyak menggunakan bahan material konstruksi jalan yang harus diimpor dari luar daerah, sehingga mengakibatkan biaya produksi jalan menjadi lebih tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian mengenai penggunaan material local. Dalam penelitian ini penulis meneliti batu kali lokal sebagai material lokal dan abu sekam padi sebagai filler bahan tambahan aspal AC-WC (Asphalt Concrete Wearing Course)..Salah satu inovasi yang menarik adalah memanfaatkan batu alam dari Quarry Sungai Talau Kab.Belu dan penambahan abu sekam padi sebagai filler pengganti dalam bahan campuran aspal AC-WC. Batu alam dari Quarry Sungai Talau Kab.Belu memiliki Bentuk Bulat/Lonjong dan memiliki permukaan yang halus akibat pengikisan air dan biasanya dimanfaatkan masyarakat sebagai pengisi pondasi serta dijual masyarakat sebagai tambahan,

sedangkan Abu sekam padi merupakan limbah hasil penggilingan padi yang banyak dihasilkan dari kegiatan pertanian dan merupakan salah satu limbah yang sulit terurai. Penggunaan Abu sekam padi tidak hanya memberikan solusi untuk mengurangi limbah, tetapi juga sifat dan Karakteristik abu sekam padi yang memiliki tekstur halus, daya serap air, dan mampu mengisi rongga udara terkecil pada campuran agregat, Abu sekam padi juga mengandung silika (SiO_2) dalam jumlah tinggi yang dimana silika dapat membantu meningkatkan kekakuan campuran sehingga campuran aspal tahan terhadap cuaca extrem seperti air hujan dan suhu panas di kab belu, Abu sekam padi juga memiliki sifat pozzolanik sehingga berpotensi meningkatkan daya tahan, kekuatan dan peningkatan stabilitas juga diharapkan mengurangi retak, serta mengoptimalkan kinerja jalan yang di bangun. mengelompokkannya dalam bidang-bidang yang sesuai..

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkerasan Jalan Raya

Perkerasan Jalan merupakan lapisan material yang disusun dan dipadatkan di atas tanah dasar (*subgrade*) untuk menopang beban lalu lintas.



Gambar 1 Lapisan Perkerasan Lentur

Fungsinya adalah menyebarkan beban roda kendaraan ke area yang lebih luas di bawahnya agar tanah dasar tidak mengalami kerusakan atau penurunan yang berlebihan. Agar perkerasan jalan sesuai dengan mutu yang di inginkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengelolaan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat di perlukan (Silvia Sukirman, 2003)

Lapisan Lapis Aus (AC-WC)

Laston (Lapisan Aspal Beton) adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan – jalan dengan beban lalu lintas berat Laston juga dikenal pula dengan nama AC (Asphalt Concrete) Karakteristik beton aspal pada campuran ini adalah stabilitas. Tebal nominal minimum Laston 4-6 cm. Ada beberapa jenis beton aspal campuran panas, namun dalam penelitian ini jenis beton aspal campuran panas yang ditinjau adalah AC-WC.

Laston sebagai lapisan Antara (Wearing Course) adalah lapisan perkerasan yang berhubugan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan. Dengan tebal nominal minimum 4 cm.

Bahan-Bahan Material Penyusun Campuran Perkerasan Jalan

Agregat

Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran – butiran yang merupakan salah satu penggunaan dalam kombinasi dengan berbagai macam tipe mulai dari sebagai bahan material di semen untuk membentuk beton, lapis pondasi jalan, material pengisi, dan lain – lain. Material Agregat merupakan komponen utama dari perkerasan jalan yang berfungsi untuk menahan beban beban lalu lintas, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. (Silvia Sukirman,2003:1).

1.Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk agregat ini adalah agregat yang tertahan ayakan No.4 (4,75mm), menurut saringan ASTM. Agregat kasar untuk campuran aspal harus terdiri dari batu pecah yang bersih, kuat, kering, awet, bersudut, bebas dari kotoran lempungdan material asing lainya serat mempuyai tekstur permukaan yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberikan sifat *interlocking* yang baik dengan material yang lain. Agregat kasar pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Ketentuan Agregat Kasar

Sifat-sifat			Metode Pengujian	Persyaratan
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat		SNI 3407:2008	Maks.12%
	magnesium sulfat			Maks.18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks.6%
		500 putaran		Maks.30%
	Semua jenis campuran bergaspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks.8%
		500 putaran		Maks.40%
Kekekalan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min.95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 *)
		Lainnya		95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	SNI 8287: 2016	Maks.5%
		Lainnya	Perbandingan 1 : 5	Maks.10%
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117: 2012	Maks.1%

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat hasil pemecah batu yang mempunyai sifat lolos saringan No.8 (2,36 mm) tertahan saringan No.200 (0,075 mm). Fungsi utama agregat halus adalah untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi

deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci (interlocking) dan gesekan antar butiran. Untuk hal ini maka sifat eksternal yang diperlukan adalah angularity (bentuk menyudut) dan particle surface roughness (kekasaran permukaan butiran). Agregat halus pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera pada Tabel

Tabel 3 Ketentuan Agregat Halus

Sifat-sifat			Metode Pengujian	Persyaratan
Nilai Setara Pasir			SNI 03-4428-1997	Min.60%
Methylene Blue Value	(MB) : fraksi 0/2mm		ASTM C837-09(2019)	≤ 2
	(MBF) : fraksi 0/0,125mm			≤ 10
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan			SNI 03-6877-2002	Min.45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat			SNI 03-4141-1996	Maks.1%
Agregat Lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117:2012	Maks.10%

Filler

Bahan pengisi dapat terdiri atas debu batu kapur, semen portland, abu terbang, atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi *filler* harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan adanya bahan pengisi adalah karena banyak terserap dalam bahan bitumen maka akan menaikkan volumenya. Untuk penelitian ini *filler* yang digunakan adalah abu sekam padi .

3. METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini secara umum merupakan pengujian laboratorium yang bertujuan untuk menguji kelayakan material yang di ambil dari batu kali lokal yang berasal di Kab.Belu dan penambahan filler Abu Sekam Padi sebagai Subtitusi terhadap berat total agregat Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC).

Tempat Penelitian

Lokasi Penelitian, pemeriksaan bahan dan pengujian stabilitas campuran aspal beton ini dilaksanakan di Laboratorium ITN Malang Jl.Bendungan Sigura-gura no.2 Malang.

Lokasi Pengambilan Material

Pada penelitian ini lokasi pengambilan sumber material yang terletak di Kecamatan Kota Atambua, Kab.Belu,Nusa Tenggara Timur yang menjadi tempat pengambilan material untuk di jadikan penelitian

Metode Analisa Data

Metode analisa data yang digunakan adalah teknik observasi secara langsung terhadap obyek yang akan diteliti. Pengumpulan data yang dilakukan meliputi :

PENGAMBILAN DATA LABORATORIUM

Data laboratorium dapat diambil dari hasil pengujian material yang dilakukan di laboratorium . Untuk menganalisa data dilakukan dengan menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2025. Pada perkerasan aspal yang dibuat melalui proses pencampuran panas, agregat mengisi 90-95% berat campuran atau 75-85% volume campuran. Oleh Karena itu perlu diperhatikan dengan baik kualitas agregat yang akan dipakai, yaitu memperhatikan sifat-sifat dari agregat tersebut seperti gradasi dan ukuran butir, kebersihan, bentuk dan tekstur permukaan, kekuatan dan porositas. Diperlukan pemeriksaan laboratorium mengenai mutu dari agregat itu sendiri. Dengan demikian agregat yang akan dipakai dalam penelitian dapat memenuhi, sesuai dengan ketentuan yang dipakai.

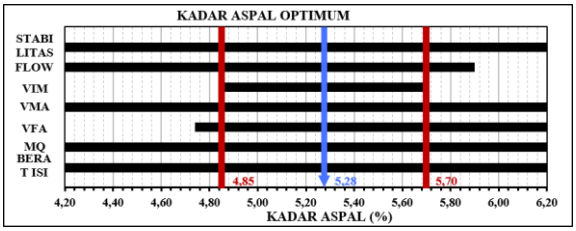
4. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Mutu Bahan

Penelitian ini menggunakan aspal Pertamina penetrasi 60/70 serta material agregat (kasar, sedang, dan halus) yang diambil langsung dari daerah aliran Sungai Talau, Kabupaten Belu. Adapun variasi dimensi butiran yang digunakan Yaitu agregat kasar 10–10 mm, agregat sedang 5–10 mm, dan agregat halus 0–5 mm.

Kadar Aspal Optimum(KAO)

Gambar 2 Grafik Diagram Batang Kadar Aspal optimum

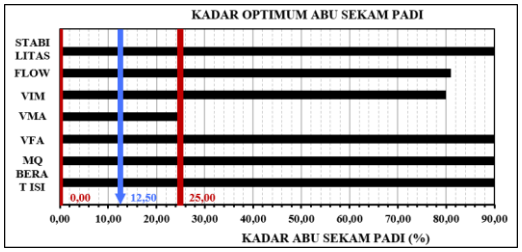


Ditinjau dari diagram diatas untuk mendapatkan kadar aspal optimum terlihat pada grafik yang mana dikelompokkan menjadi dua sisi dari perpotongan kadar aspal optimum yaitu sisi kiri dan sisi kanan. Sisi kiri menyatakan batas maksimum dan sisi kanan menyatakan batas minimum, sehinggan dapat digunakan rumus sebagai berikut : $\frac{a+b}{2} = \frac{4{,}85+5{,}70}{2} =$ (5,28)

Menentukan Kadar Filler Abu Sekam Padi Optimum Pada Campuran Aspal AC-WC

Setelah mendapatkan hasil pengujian dan analisis grafik dari campuran aspal AC-WC dengan menggunakan bahan tambahanAbu Sekam Padi, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan kadar optimum dalam campuran aspal porus. Hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar

Gambar 3 Grafik Kadar Abu Sekam Padi



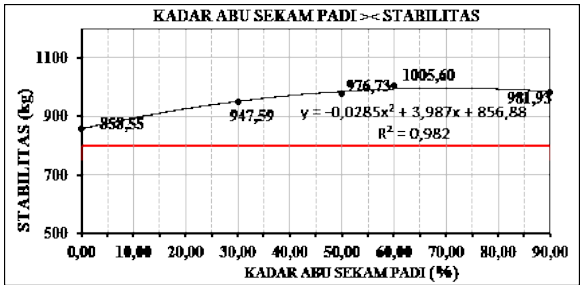
Ditinjau dari diagram diatas untuk mendapatkan kadar filler optimum terlihat pada grafik yang mana dikelompokkan menjadi dua sisi dari perpotongan kadar filler optimum yaitu sisi kiri dan sisi kanan. Sisi kiri menyatakan batas minimum dan sisi kanan menyatakan batas maksimum, sehingga dapat digunakan rumus sebagai berikut : $\frac{a+b}{2} = \frac{0+60,00}{2} = 30,00$

Analisa Regresi Hasil Pengujian Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Filler

Analisis regresi dilakukan untuk mengkaji pola hubungan antara penambahan kadar abu sekam padi terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Melalui pendekatan statistik, dilakukan pemodelan hubungan antarparameter untuk menentukan tren perilaku campuran serta mengidentifikasi titik optimum dari setiap karakteristik yang diuji sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2025 , Karena terdapat 2 atau lebih Variabel maka akan di dicoba menggunakan regresi nonlinier bentuk polinomal, dengan bentuk persamaan:

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2$$

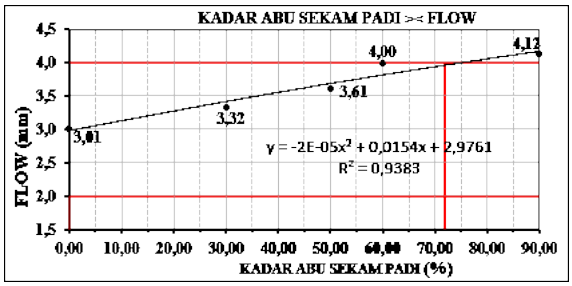
Berdasarkan hasil regresi pada hubungan kadar fillller Abu Sekam Padi dengan Stabilitas menghasilkan persamaan Y = = -0,0285x2 + 3,987x + 856,88 Dengan koefisien determinasi sebesar (R^2) sebesar 0,982 . Dapat dikatakan bahwa 100% perubahan nilai stabilitas di pengaruhi oleh kadar filler Abu Sekam Padi.



Gambar 4 Grafik Uji Regresi Hubungan kadar Filler ASP terhadap Stabillitas

Hasil pengujian pada Gambar 4 mengindikasikan bahwa substitusi abu sekam padi mengakibatkan kenaikan nilai stabilitas campuran AC-WC secara bertahap. Analisis regresi menunjukkan tingkat korelasi yang kuat ($R^2 = 0,982$) dalam merepresentasikan pola hubungan tersebut. Meskipun demikian, titik optimum masih dapat dicapai pada penggunaan kadar 60% dengan nilai stabilitas mencapai 1005,60 kg. Sesuai dengan ketentuan sifat-sifat campuran aspal pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2025, ambang batas minimal stabilitas untuk AC-WC adalah 800 kg. Oleh karena itu, semua variasi kadar abu sekam padi dalam penelitian ini dinyatakan memenuhi standar kelayakan karena secara keseluruhan nilainya melampaui batas deformasi minimum yang diwajibkan."

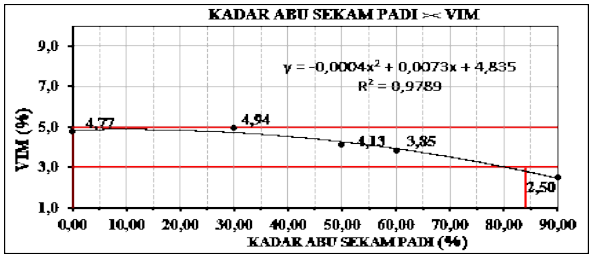
A. FLOW



Gambar 5 Grafik hubungan kadar Abu sekam padi terhadap Flow

Berdasarkan Grafik 4.24 hubungan antara kadar filler abu sekam padi terhadap Flow dapat dilihat bahwa Semakin tinggi kadar abu sekam padi yang ditambahkan, semakin luas total permukaan partikel dalam campuran. Akibatnya, kebutuhan film aspal untuk menyelimuti seluruh permukaan partikel menjadi sangat padat, yang membuat campuran menjadi lebih elastis dan cenderung lebih mudah mengalami deformasi (kelelehan) saat diberi beban. mengalami peningkatan dimana nilai maksimumnya di variasi 90%, Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2025 dimana nilai flow di isyaratkan yaitu minimum 2 mm dan maksimum 4 mm, dapat dikatakan bahwa nilai flow variasi 0% ,30%,50%dan 60% memenuhi syarat karena masih masuk rentang 2-4 mm sedangkan pada variasi 90 % telah melewati batas maksimum syarat flow yaitu berada pada 4,12 mm. Berdasarkan hasil pengujian regresi didapatkan persamaan Y = -2E-05x^2 + 0,0154x + 2,9761dengan koefisien determinasi R^2 = 0,9383 Hal ini menyatakan bahwa adanya hubungan kuat antara variabel independent variasi abu sekam padi terhadap Flow.

B.VIM

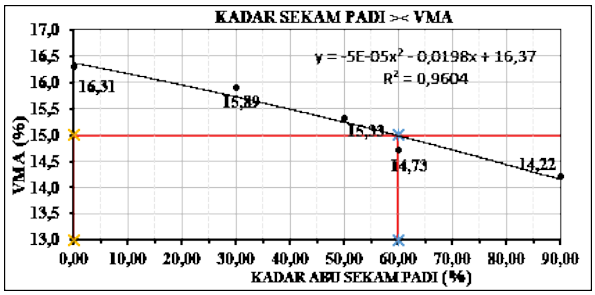


Gambar 6 Grafik Uji Regresi Hubungan Kadar Abu Sekam Padi Terhadap VIM

Berdasarkan grafik 6 hubungan antara kadar fillller abu sekam padi terhadap vim dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya variasi filler abu sekam padi maka nilai vim mengalami penurunan dimana abu sekam padi bekerja sebagai pengisi ruang kosong atau pori-pori yag tersisa di Butiran Agregat sehingga mengalami penurunan . Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2025

Nilai Vim yang di isyaratkan yaitu 3% dan 5% dan nilai minimum grafik berada di nilai 2.50 dan maksimumnya di 4.77 sehingga pada variasi 0% ,30%,50% dan 60 % memenuhi syarat namun 90 % tidak karena berada di bawah batas minimum spesifikasi. Berdasarkan hasil pengujian regresi didapatkan persamaan Y = -0,0004x^2 + 0,0073x + 4,835dengan koefisien determinasi R^2 = 0,9789 Hal ini menyatakan bahwa adanya hubungan kuat antara variabel independent variasi abu sekam padi terhadap Vim.

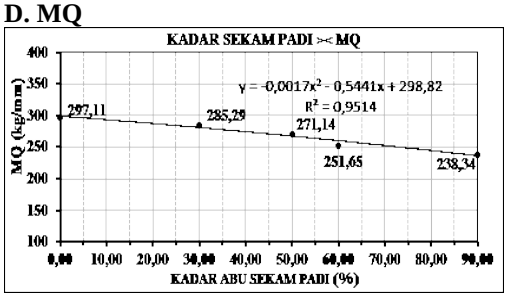
C. VMA



Gambar 7 Grafik Uji Regresi Hubungan Kadar Abu Sekam Padi Terhadap VMA

Berdasarkan grafik 7 hubungan antara kadar fillller abu sekam padi terhadap vim dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya variasi filler abu sekam padi maka nilai VMA mengalami penurunan hal ini disebabkan seiring dengan bertambahnya abu sekam padi maka reduksi ruang kosong antar agregat terisi optimal yang di mana abu sekam padi mmemperbaiki susunan fisik campuran,sehingga butiran-butiran agregat tersusun lebih rapat dan padat. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2025 Nilai Vim yang di isyaratkan yaitu minimum 15% dan nilai minimum grafik berada di nilai 14,22 dan maksimumnya di 16,31 sehingga pada variasi 0%,30%,50% memenuhi syarat namun 60% dan 90 % tidak karena berada di bawah batas minimum spesifikasi. Berdasarkan hasil pengujian regresi didapatkan persamaan Y = -5E-05x^2 - 0,0198x + 16,37 dengan koefisien determinasi R^2 = 0,9604 Hal ini menyatakan bahwa adanya hubungan kuat antara variabel independent variasi abu sekam padi terhadap Vim.

D. MQ



Gambar 8 Grafik Uji Regresi Hubungan Kadar Abu Sekam Padi Terhadap Marshall Quotient

Berdasarkan grafik 8 hubungan antara kadar fillller abu sekam padi terhadap Marshall Queotient dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya variasi filler abu sekam padi maka nilai MQ mengalami penurunan Menurunnya nilai MQ menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih fleksibel (FLOW) atau lebih mudah mengalami deformasi elastis/plastis seiring dengan bertambahnya kadar *filler* abu sekam padi, sehingga tingkat kekakuannya berkurang dibandingkan dengan campuran normal..berdasarkan spesifikasi bina marga 2025 yaitu nilai MQ harus >250 dapat dilihat dari grafik bahwa nilai maksimum berada di variasi 0% dan nilai minimumnya berada pada 238,34 sehingga variasi abu sekam padi terhadap MQ pada kadar aspal 0% -60% memenuhi spesifikasi sedangkan pada 90% tidak memenuhi . Berdasarkan hasil pengujian regresi didapatkan persamaan Y = -0,0017x^2 - 0,5441x + 298,82 dengan koefisien determinasi R^2 = 0,9514 Hal ini menyatakan bahwa adanya hubungan kuat antara variabel independent variasi abu sekam padi terhadap MQ.

E. VFA



Gambar 9 Grafik Uji Regresi Hubungan Kadar Abu Sekam Padi Terhadap VFA

Berdasarkan grafik 9 hubungan antara kadar fillller abu sekam padi terhadap VFA dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya variasi filler abu sekam padi maka nilai VFA(*Voids Filled with Asphalt*): yang dimana VFA adalah persentase volume rongga mengalami kenaikan seiring turunnya nilai VMA dan VIM akibat kepadatan yang meningkat, proporsi rongga antar agregat mineral yang mampu diisi oleh pasta aspal menjadi lebih efisien dan meningkat secara persentase,.berdasarkan spesifikasi bina marga 2025 yaitu nilai VFA harus >65% dapat dilihat dari grafik bahwa nilai maksimum berada di variasi 90% yaitu 82,41 dan nilai minimumnya berada pada 0% yaitu 66,36 sehingga variasi abu sekam padi terhadap VFA Memenuhi syarat. Berdasarkan hasil pengujian regresi didapatkan persamaan Y = 0,0013x^2 + 0,0601x + 66,33 dengan koefisien determinasi R^2 = 0,9978 Hal ini menyatakan bahwa adanya hubungan kuat antara variabel independent variasi abu sekam padi terhadap VFA.

Uji Hipotesis

Untuk menguji kebenaran hipotesis penelitian mengenai pengaruh penambahan abu sekam padi sebagai *filler* terhadap karakteristik campuran aspal AC-WC, dilakukan pengujian statistik menggunakan analisis regresi polinomial orde 2. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah pengaruh yang

teramati bersifat signifikan secara statistik atau hanya merupakan variasi acak.
Hipotesis penelitian yang diajukan adalah sebagai berikut:

- H_0**:** Tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi kadar abu sekam padi terhadap parameter Marshall campuran AC-WC.
- H_a**:** Terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi kadar abu sekam padi terhadap parameter Marshall campuran AC-WC.

Pengambilan keputusan dilakukan dengan membandingkan nilai signifikansi (p-value) dari hasil pengolahan data SPSS dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0{,}05$). Jika nilai signifikansi (Sig.) lebih kecil dari 0,05, maka H_0 ditolak dan H_a diterima. Ringkasan hasil uji Perhitungan analisa varian satu arah disajikan pada Tabel dibawah ini :

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Analisa Varian Satu Arah

no	Parameter	Fhitung	</>	Ftable	H_0	H_a
1	Stabilitas	25,62	>	2,87	H_0 Ditolak	Ha Diterima
2	Flow	9,04	>	2,87	H_0 Ditolak	Ha Diterima
3	VIM	10,85	>	2,87	H_0 Ditolak	Ha Diterima
4	VMA	9,73	>	2,87	H_0 Ditolak	Ha Diterima
5	MQ	3,48	>	2,87	H_0 Ditolak	Ha Diterima
6	VFA	16,17	>	2,87	H_0 Ditolak	Ha Diterima

Uji Interval Kepercayaan

Dari data-data yang diperoleh dalam hasil penelitian selanjutnya diuji dengan menggunakan metode interval kepercayaan. Dengan menggunakan interval kepercayaan diharapkan data-data tersebut dapat mendekati angka valid. Dalam pengujian tersebut, interval kepercayaan konfiden 95%. Hal ini berarti angka toleransi kesalahan yang diijinkan hanya 5%, sedangkan sisanya 95% adalah data- data yang dapat dipercaya. Data-data yang tidak memenuhi syarat tersebut tidak digunakan, sehingga data-data yang memenuhi syarat yang diuji secara statistik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil studi penelitian campuran aspal jenis *AC-WC (Asphalt Concrete - Wearing Course)* dengan memanfaatkan agregat lokal dari Belu dan abu sekam padi sebagai (*filler*) pengganti, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan Hasil Pengujian dari perhitungan Grafik Diagram Batang Maka didapatkan Kadar Aspal Optimum sebesar 5,28 %

1. 2 Berdasarkan Hasil Pengujian dari perhitungan Grafik Diagram Batang Maka didapatkan Kadar Aspal Optimum yang Ideal sebesar 5,28 % untuk Variasi Abu Sekam Padi Sebagai Filler Pengganti.

2. Berdasarkan analisa Regresi didapatkan karakteristik penggunaan abu sekam padi sebagai *filler pengganti* pada campuran AC-WC dengan agregat batu kali lokal dari Kabupaten Belu maka didapatkan kadar abu sekam Ideal 30%, menggunakan diagram batang berikut adalah detail persentasenya

Stabilitas = 858,55 kg(syarat min.800kg)
Flow = 3,32 mm(syarat min.2-4 mm)
VIM = 4,94 %(syarat min.3% - 5%)
VMA = 15,89%(syarat min. 15%)
VFA = 69,12 % (syarat min. 65%)
MQ = 285,29 kg/mm (syarat min. 250)
Density = 2,372 gr/cm^3
Pada kadar 30%,50%,60%90% didapatkan hasil sebagai berikut :
Stabilitas = 1127,97 – 1169,51 kg (syarat min.800kg)
Flow = 3,01 - 4,12 mm(syarat min.2-4 mm)
VIM = 4,77 - 2,50 % (syarat min.3% - 5%)
VMA= 16,31-14,22 %(syarat min. 14%)
VFA = 66,33-82,41% (syarat min. 65%)
MQ =353,86-283,87 kg/mm (syarat min. 250)
Density=2,372—2,378 gr/cm^3

3. Berdasarkan Karakteristik marshall pada campuran AC-WC menggunakan batu kali lokal Kab.Belu dengan penambahan Abu Sekam padi Sebagai Filler Pengganti maka di dapatkan :

- **Stabilitas (Menurun setelah titik optimum):**

  Kelebihan kadar filler (abu sekam padi) di luar batas optimum(30%) akan menyebabkan luas permukaan agregat terlalu diselimuti oleh partikel halus yang berlebihan tanpa adanya peningkatan proporsi aspal yang memadai, sehingga ikatan kohesi antar agregat terganggu dan campuran menjadi lebih rapuh atau mudah mengalami deformasi.

- **Flow / Kelelahan (Semakin meningkat):**

  Partikel abu sekam padi yang bertambah membuat campuran menjadi lebih plastis dan fleksibel, sehingga ketahanan terhadap lendutan atau deformasi di bawah beban bertambah dan nilai flow ikut naik.

- **VIM / Voids in Mix (Semakin menurun):**

  Semakin banyak partikel halus filler yang masuk ke dalam campuran, maka ruang kosong atau rongga udara di antara butiran agregat akan semakin terisi dan tertutup rapat.

- **VMA / Voids in Mineral Aggregate (Semakin menurun):**

  Total rongga di antara mineral agregat (termasuk ruang kosong udara dan volume aspal efektif) berkurang karena volume filler yang sangat halus mendominasi ruang antar agregat kasar dan halus.

- **VFA / Voids Filled with Asphalt (Semakin meningkat):**

  Karena rongga total antar agregat (VMA) semakin menyusut sementara jumlah material pengisi dan aspal yang ada mendesak ruang tersebut, persentase rongga yang terisi aspal menjadi lebih tinggi.

- **Marshall Quotient / MQ (Semakin menurun):**

  Nilai Marshall Quotient adalah hasil bagi antara stabilitas dan flow (MQ = Stabilitas/Flow). Karena nilai stabilitas cenderung turun setelah melewati titik optimum sementara nilai flow terus meningkat, rasio pembagian tersebut menghasilkan nilai MQ yang semakin kecil, yang menandakan campuran menjadi lebih fleksibel tetapi berkurang tingkat kekakuannya.

Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan dari penelitian pemanfaatan agregat lokal Kabupaten Belu dan abu sekam padi sebagai *filler* pada campuran AC-WC, maka beberapa hal yang dapat disarankan untuk penelitian atau pengembangan selanjutnya antara lain:

1. Pengujian Durabilitas (*Durability*): Disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk melakukan pengujian lanjutan berupa uji rendaman (*Immersion Test* / *Marshall Immersion*) guna mengetahui tingkat ketahanan atau keawetan campuran terhadap pengaruh air (kelembaban), mengingat abu sekam padi kaya akan silika yang dapat berinteraksi dengan kelembaban dalam jangka panjang.
2. Variasi Kadar Substitusi yang Lebih Rapat: Pada penelitian ini rentang persentase substitusi *filler* cukup lebar (misalnya dari 30% loncat ke 50% dan 60%). Untuk mendapatkan titik optimum persentase abu sekam padi yang paling presisi dan memenuhi seluruh spesifikasi Bina Marga secara mutlak, disarankan menggunakan rentang variasi yang lebih rapat (misalnya interval 5% atau 10%).
3. Penggunaan Varian *Filler* atau Aditif Lain: Perlu dilakukan kajian perbandingan dengan memadukan abu sekam padi dengan bahan tambah (*additive*) lain atau serat selulosa guna mengoptimalkan nilai *Marshall Quotient* (MQ) agar tingkat kekakuan campuran tetap terjaga di atas batas minimum spesifikasi pada kadar substitusi tinggi.
4. Aplikasi Lapangan (Skala Skala Penuh): Hasil karakteristik Marshall yang menunjukkan perubahan nilai *flow*, VIM, VMA, dan VFA pada kadar tertentu dapat dijadikan acuan awal untuk uji coba hamparan di lapangan (skala *test section*), dengan tetap memperhatikan kondisi cuaca dan metode pemadatan riil di wilayah Kabupaten Belu.

DAFTAR PUSTAKA

Amiwarti, A., Purwanto, H., Firdaus, M., & Afriyadi. (2024). *Pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap komposisi campuran aspal beton (AC-WC)*. Jurnal Teknik Sipil.

Hermansyah, H., Isnan, A. F., & Yanti, F. (2022). *Karakteristik Marshall pada campuran aspal HRS-WC menggunakan abu sekam padi*. Jurnal Teknik Sipil.

Juniayanti, I. F. S. (2023). *Pengaruh filler abu sekam padi terhadap campuran AC-WC untuk daerah pesisir pantai*. Jurnal Teknik Sipil.

Selistino Alfian Acry Tae. (2024). *Studi Penelitian Campuran Aspal Jenis HRS-Base dengan Menggunakan Agregat Lokal Berdasarkan Karakteristik Marshall (Quarry Sungai Talau Kabupaten Belu NTT)*. Jurnal Teknik Sipil.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). *Spesifikasi umum Bina Marga 2025 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Nova.

Badan Standardisasi Nasional. (1991). *SNI 06-2440-1991: Metode pengujian kehilangan berat minyak dan aspal*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6877-2002: Metode pengujian penyerapan air agregat*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 2417:2008: Cara uji keausan agregat dengan mesin Los Angeles*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 3423:2008: Cara uji berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 2432:2011: Metode pengujian daktilitas aspal*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 2433:2011: Metode pengujian titik nyala dan titik bakar aspal*. Jakarta: BSN.