



JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

- 1. PERENCANAAN GEOMETRIK DAN TEBAL PERKERASAN JALAN AKSES KE LOKASI PON XXI TAHUN 2024**
(Al Fajri, Andrian Kaifan, Deni Iqbal)
- 2. ANALISIS KINERJA LALULINTAS AKIBAT PARKIR DI BADAN JALAN (STUDI KASUS: JALAN PANGERAN DIPONEGORO DEPAN PASAR ATJEH KOTA BANDA ACEH)**
(Beurahmat Meurah Alam, Mulizar, Ibrahim)
- 3. EFEK PENAMBAHAN CARBON ABU ARANG BAKAU KE DALAM BITUMEN DAN CAMPURAN ASPAL POROUS**
(Farah Akifah, Zairipan Jaya, Supardin)
- 4. ALTERNATIF PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PEKERJAAN PENGASPALAN PROYEK PRESERVASI JALAN PAMEU-SIMPANG UNING ACEH TENGAH**
(Indriya Azuar, Zulfikar, Tursina)
- 5. PEMANFAATN LIMBAH PLASTIK HDPE SEBAGAI BAHAN TAMBAH ASPAL PADA CAMPURAN ASPAL CONCRETE WEARING COARSE (AC-WC)**
(M. Fathul Albar, Syarwan, Mirza Fahmi)
- 6. ANALISIS PERCEPATAN WAKTU MENGGUNAKAN METODE TIME COST TRADE OFF PADA PROYEK JEMBATAN**
(Muhammad Dzaky, Munardy, Syarifah Keumala Intan)
- 7. KOMPARASI ANTARA ANALISA EI DAN AHSP BINA MARGA PADA PROYEK PEMELIHARAAN BERKALA JALAN PAYA BAKONG CLUSTER IV**
(Muhammad Zulfansyan, Bakhtiar A, Iponsyahputra bin Amiruddin)
- 8. STABILISASI TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH ABU SEKAM PADI DAN PASIR TERHADAP CBR LABORATORIUM**
(Nurul Hajra, Gusrizal, Muhammad Reza)
- 9. PERENCANAAN GELAGAR PRATEGANG JEMBATAN TANJUNG BEURIDI**
(Talitha Nabila, Sukri, Syamsul Bahri)
- 10. STABILISASI TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH ABU VULKANIK DAN KAPUR MENGGUNAKAN METODE CBR**
(Teuku Ridzky Moebaraq, Faisal Abdullah, Iskandar)

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

Penasehat

Direktur Politeknik Negeri Lhokseumawe

Penanggung Jawab

Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Politeknik Negeri Lhokseumawe

Ketua Redaksi

Muhammad Reza, M.Eng.

Sekretaris Redaksi

Erna Yusnianti, S.Si., M.Si.

Dewan Editor:

Dr. Ir. Mochammad Afifuddin, M.Eng.	(Universitas Syiah Kuala)
Dr. Ir. Samsul Bahri, M.Si.	(Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Ir. Munardy, M.T.	(Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Muliadi, S.T., M.T.	(Universitas Negeri Malikussaleh)
Syarwan, S.T., M.T.	(Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Yulius Rief Alkhaly, S.T., M.Eng.	(Universitas Negeri Malikussaleh)

Penyunting Pelaksana

Dr. Ibrahim, S.T., M.T.

Pelaksana Tata Usaha

Hasanuddin, A.Md.

Penerbit

Politeknik Negeri Lhokseumawe

Alamat:

Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh–Medan Km 280,3 Buketrata
Lhokseumawe 24301 P.O. Box 90
Website: sipil.pnl.ac.id, email: pjj@pnl.ac.id

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

DAFTAR ISI

Dewan Redaksi.....	i
Daftar Isi	ii
Pengantar Redaksi	iii
1. PERENCANAAN GEOMETRIK DAN TEBAL PERKERASAN JALAN AKSES KE LOKASI PON XXI TAHUN 2024 (Al Fajri, Andrian Kaifan, Deni Iqbal).....	1-8
2. ANALISIS KINERJA LALULINTAS AKIBAT PARKIR DI BADAN JALAN (STUDI KASUS: JALAN PANGERAN DIPONEGORO DEPAN PASAR ATJEH KOTA BANDA ACEH) (Beurahmat Meurah Alam, Mulizar, Ibrahim).....	9-15
3. EFEK PENAMBAHAN CARBON ABU ARANG BAKAU KE DALAM BITUMEN DAN CAMPURAN ASPAL POROUS (Farah Akifah, Zairipan Jaya, Supardin)	16-24
4. ALTERNATIF PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PEKERJAAN PENGASPALAN PROYEK PRESERVASI JALAN PAMEU-SIMPANG UNING ACEH TENGAH (Indriya Azuar, Zulfikar, Tursina)	25-34
5. PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK HDPE SEBAGAI BAHAN TAMBAH ASPAL PADA CAMPURAN ASPAL CONCRETE WEARING COARSE (AC-WC) (M. Fathul Albar, Syarwan, Mirza Fahmi).....	35-43
6. ANALISIS PERCEPATAN WAKTU MENGGUNAKAN METODE TIME COST TRADE OFF PADA PROYEK JEMBATAN (Muhammad Dzaky, Munardy, Syarifah Keumala Intan).....	44-50
7. KOMPARASI ANTARA ANALISA EI DAN AHSP BINA MARGA PADA PROYEK PEMELIHARAAN BERKALA JALAN PAYA BAKONG CLUSTER IV (Muhammad Zulfansyan, Bakhtiar A, Iponsyahputra bin Amiruddin).....	51-55
8. STABILISASI TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH ABU SEKAM PADI DAN PASIR TERHADAP CBR LABORATORIUM (Nurul Wilda, Supardin, Yuhanis Yunus)	56-63
9. PERENCANAAN GELAGAR PRATEGANG JEMBATAN TANJUNG BEURIDI (Talitha Nabila, Sukri, Syamsul Bahri)	64-68
10. STABILISASI TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH ABU VULKANIK DAN KAPUR MENGGUNAKAN METODE CBR (Teuku Ridzky Moebaraq, Faisal Abdullah, Iskandar).....	69-74
Petunjuk Penulisan Artikel Ilmiah	75

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

PENGANTAR REDAKSI

Assalamualaikum wr wb.

Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Jurnal Sipil Sains Terapan Volume 07 Nomor 01 Edisi Maret 2024 dapat diterbitkan. Jurnal Sipil Sains Terapan ini merupakan jurnal hasil Skripsi dari Mahasiswa Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Jurnal Sipil Sains Terapan ini terbit secara berkala dengan frekuensi terbitan sebanyak 2 (dua) kali dalam setahun. Pada Volume 07 Nomor 01 Edisi Maret 2024 ini terdapat 10 (sepuluh) artikel. Artikel-artikel yang tergabung di dalam Jurnal Sipil Sains Terapan ini meninjau dari sisi teknik maupun manajemen dalam perencanaan jalan dan jembatan.

Redaksi mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penerbitan Jurnal Sipil Sains Terapan ini. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan terhadap Jurnal Sipil Sains Terapan pada edisi-edisi yang berikutnya untuk memperkaya keilmuan terkait perencanaan jalan dan jembatan.

Redaksi

EFEK PENAMBAHAN KARBON ABU ARANG KAYU KE DALAM BITUMEN DAN CAMPURAN ASPAL BETON POROUS

Farah Akifah¹, Zairipan Jaya², Supardin³

¹⁾ Mahasiswa, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Email: farahakifah13@gmail.com

²⁾ Dosen, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Email: Zairipanjaya@pnl.ac.id

³⁾ Dosen, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Email: pardin211965@pnl.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan bahan biopolimer dalam wujud karbon halus dari limbah abu arang kayu hasil dari proses pembakaran batu bata sebagai filler pada campuran aspal beton porous diharapkan dapat meningkatkan kinerja stuktur dan kinerja fungsional serta dapat mengurangi limbah kayu hasil pembakaran batu bata. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mencari bahan biopolimer alternatif lainnya untuk meningkatkan nilai fungsi kekuatan dari aspal beton porous secara stuktural yaitu stabilitas, flow dan MQ maupun fungsional yaitu VIM, permeabilitas dan kecepatan aliran. Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan metode pengambilan data yang dilakukan secara langsung di laboratorium Jalan Raya Politeknik Negeri Lhokseumawe. Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 sebagai bahan pengikat dan material agregat diperoleh dari PT. Abad Jaya Group. Untuk kadar abu arang kayu pada campuran aspal beton porous yaitu 0%, 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4% dari berat campuran. Hasil mampu meningkatkan kinerja strukturalnya hingga mencapai nilai optimum pada penggunaan persentase kadar 2,5% dengan nilai stabilitas dari 637 kg sampai 1106 kg, peningkatan nilai flow dari 2,6 mm sampai 3,6 mm dan peningkatan nilai MQ dari 273,80 kg/mm sampai 310,74. kg/mm. Pada kinerja fungsionalnya dengan penambahan abu arang kayu ke dalam campuran aspal beton porous berbanding terbalik dengan kinerja strukturalnya, yaitu mengalami penurunan pada nilai VIM dari 22,4% sampai 20,34%, waktu pengaliran air menurun dari 0,244 cm/det sampai 0,228 cm/dt dan kecepatan aliran mengalami peningkatan dari 8,06 detik sampai 9,43 detik akibat bertambahnya kadar abu arang kayu sehingga tertutupnya rongga pada campuran. Hasil pengujian pada penelitian ini didapat hasil kinerja fungsi struktural dan kinerja fungsi fungsional memenuhi spesifikasi Australian Asphalt pavement Association (AAPA) tahun 2004..

Kata Kunci: Aspal beton porous, Abu arang kayu, Marshall Test, Pemeabilitas

I. PENDAHULUAN

Penambahan bahan biopolimer dalam wujud karbon halus yang digunakan sebagai filler ke dalam campuran aspal beton porous dapat meningkatkan kinerja struktural yaitu stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ) dan kinerja fungsional yaitu, Void In Mixture (VIM), permeabilitas, kecepatan alir air dalam campuran. Namun ada empat penelitian sebelumnya yang menunjukkan ketidakbenaran hal tersebut, diantaranya penelitian Maulana (2022) yang menggunakan bahan biopolimer abu cangkang kopi sebagai substitusi filler dalam campuran aspal beton porous berpedoman pada spesifikasi AAPA tahun 2004 dengan hasil nilai stabilitas meningkat dari 804 kg sampai 1474 kg, flow mengalami penurunan dari 3,3 mm sampai 3,1 mm, MQ mengalami peningkatan dari 249,5 sampai 475,6 kg/m dan VIM mengalami penurunan dari 19,2% sampai 13,8% dan permeabilitas mengalami penurunan dari 0,0142 sampai 0,0133 cm/detik. Penggunaan bahan biopolimer juga telah diteliti oleh Gusty et al. (2022) pada campuran aspal beton porous menggunakan abu sabut kelapa sebagai pengganti filler memperoleh hasil nilai stabilitas mengalami peningkatan 574,53 sampai 824,6 kg, penurunan flow dari 4,21 sampai 2,89 mm, peingkatkan MQ dari 136,30 sampai

290,58 kg/mm, dan peningkatan VIM dari 15,70 sampai 32,64%. Penelitian serupa juga telah diteliti oleh Thomas et al. (2019), Hasil penelitian menunjukkan pengujian marshall pada campuran aspal beton porous dengan nilai stabilitas mengalami peningkatan dari 13,7 sampai 14,8 kN, flow mengalami peningkatan dari 4,86 - 5,8 mm dan VIM mengalami penurunan dari 28,21 sampai 17,13%. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, penggunaan bahan biopolimer tidak selalu meningkatkan kinerja struktural dan kinerja fungsional diantaranya ada beberapa parameter kinerja struktural dan fungsional yang mengalami peningkatan dan penurunan. Pada penelitian ini akan diteliti lebih lanjut penggunaan bahan limbah bio polimer yang berasal dari abu arang kayu. Pemilihan abu arang kayu sebagai filler dilakukan karena pada proses pembuatan batu bata yang menggunakan kayu sebagai alternatif untuk proses pembakarannya, hal ini menghasilkan limbah kayu yang banyak. Pemilihan abu arang kayu ini diharapkan dapat mengurangi sisa limbah kayu hasil pembakaran batu bata tersebut.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mencari bahan biopolimer alternatif lain untuk meningkatkan nilai fungsi kekuatan dari aspal beton porous itu sendiri baik secara struktural yaitu stabilitas, flow dan MQ maupun fungsional yaitu VIM, permeabilitas dan kecepatan aliran. Penambahan kadar filler abu arang kayu pada penelitian ini yaitu 2%, 2,5%, 3%, 3,5% dan 4% dari berat campuran.

A. *Aspal beton porous*

Menurut Nabilla et al. (2020) Campuran aspal porous merupakan generasi baru dalam perkerasan lentur, yang membolehkan air meresap ke dalam lapisan atas (wearing course) secara vertikal dan horizontal. Lapisan aspal porous ini dapat meningkatkan kontak antara ban luar lalu lintas dengan permukaan jalan dalam berbagai kondisi cuaca. Selain itu, dapat mengurangi percikan air oleh ban lalu lintas, kesilauan akibat sinar lampu lalu lintas pada malam hari, serta mereduksi kebisingan.

B. *Abu Arang Kayu*

Abu arang kayu merupakan limbah hasil pembakaran batu bata yang dihaluskan hingga menjadi bubuk halus dan disaring hingga lolos saringan No.200 agar dapat dijadikan filler dalam campuran aspal beton porous.

C. *Sifat Fisis Aspal*

Pengujian sifat fisis aspal dilakukan untuk mengetahui sifat dasar aspal sebelum dan sesudah penambahan abu arang kayu. Berikut tabel persyaratan pemeriksaan sifat fisis aspal:

Tabel 1. Persyaratan Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

No	Sifat Fisis Aspal	Ketentuan
1	Berat Jenis Aspal	1.00 - 1.30
2	Penetrasi Aspal	60- 70
3	Titik Lembek	48 °C - 58 °C

Sumber : Spesifikasi Umum Tahun 2018, Devisi 6 Perkerasan Aspal

D. *Kinerja Struktural dan Kinerja Fungsional*

Pemeriksaan karakteristik campuran aspal beton dapat diperiksa menggunakan marshall test. Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan ketahanan (Stabilitas) terhadap kelelahan plastis (Flow) dari campuran aspal. Parameter kinerja struktural pada aspal beton porous yaitu stabilitas, kelelahan plastis (Flow), Marshall Qoutient (MQ) dan kinerja fungsional yaitu Void In Mixture (VIM), permeabilitas, kecepatan aliran. Menurut Spesifikasi yang dikutip dari *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) pada tahun 2004 aspal beton porous memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Aspal Beton Porous

No	Kriteria perencanaan	Nilai	Satuan
1	Koefisien Permeabilitas	0,1-0,5	cm/s
2	Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM)%	18-25	%
3	Stabilitas Marshall (mm)	Min.500	Kg
4	Kelelahan Marshall (Flow)	2-6	Mm
5	Marshall Question (kg/mm)	Maks. 400	Kg/m
6	Jumlah Tumbukan Perbidang	50	Tumbukan

Sumber : AAPA 2024 dalam Sembung, 2020

II. METODELOGI

Penelitian ini merupakan jenis penelitian ekperimental karena penelitian ini sengaja melakukan rekayasa terhadap satu atau lebih variabel dengan suatu cara yang dapat mempengaruhi variabel tersebut. Peneletian ini dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian meliputi data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data utama yang dikumpulkan secara langsung melalui berbagai macam pengujian yang dilakukan dengan mengacu pada petunjuk Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian tersebut meliputi pengujian sifat fisis agregat berupa pengujian analisa saringan, pengujian berat jenis agregat halus dan agregat kasar, pengujian keausan agregat, pengujian kelekatan aspal terhadap agregat dan pengujian sifat fisis aspal yang meliputi pengujian berat jenis aspal, pengujian penetrasi aspal, pengujian titik lembek aspal.

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperlukan dalam penelitian seperti pemeriksaan angka koreksi benda uji, angka kalibrasi alat dan sebagainya. Data sekunder dapat diambil dari hasil peneltian sebelumnya yang masih berhubungan dengan penelitian tersebut.

Rancangan campuran agregat dilakukan untuk mencampurkan antara fraksi agregat kasar, fraksi agregat halus, dan fraksi abu. Jika rancangan campuran agregat sudah sesuai dengan persyaratan maka di lanjutkan dengan rancangan untuk menentukan kadar aspal optimum. Variasi kadar aspal yang dicampur adalah 3,81%, 4,31%, 4,81%, 5,31% dan 5,81% terhadap berat total campuran. Tiap variasi kadar aspal dibuat 3 benda uji, sehingga jumlah benda uji adalah 15 buah. Berdasarkan data pengujian marshall dibuat grafik-grafik yang menyatakan hubungan antara kadar aspal dengan parameter *marshall* dan variasi kadar aspal. Evaluasi dari grafik-grafik yaitu dengan mengaitkan persyaratan karakteristik campuran akan diperoleh karakteristik campuran aspal beton pada keadaan aspal optimum.

Setelah didapatkan kadar aspal optimum, maka selanjutnya dilakukan pemeriksaan sifat fisis bitumen dan rancangan campuran dengan menggunakan abu arang kayu variasi 2%-4%. Setelah didapat nilai sifat fisis bitumen, dilanjutkan pembuatan benda uji variasi persentase penggunaan abu arang kayu. Tiap variasi kadar abu arang kayu dibuat 3 benda uji dan 3 benda uji tanpa menggunakan abu arang kayu, sehingga jumlah benda uji adalah 18 buah. Kemudian dilakukan pengujian permeabilitas dan dilanjutkan dengan pengujian *marshall*.

Pengolahan data pada penelitian dengan cara mentabulasikan dan memplotting ke dalam grafik dengan Microsoft Exel 2018. Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu data berat jenis, penetrasi, titik lembek, stabilitas, flow, VIM, MQ, dan data permeabilitas. Pengolahan data dilakukan untuk memperoleh data ringkasan dengan menggunakan cara atau rumus-rumus tertentu. Pengolahan data bertujuan mengubah data mentah dari hasil pemeriksaan dan pengujian menjadi data yang lebih halus sehingga memberikan arah untuk pengkajian lebih lanjut.

Analisa data yang digunakan untuk menunjukkan hubungan antara parameter marshall dan permeabilitas aspal beton porous digunakan analisa korelasi sederhana. Analisa data yang digunakan dalam proses pengintersprestasian hasil pengolahan data adalah jenis analisis

inferensial yaitu analisis yang menekankan hubungan antar variabel dengan menyimpulkan hasil penelitian. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan aplikasi Microsoft Exel 2018 dan SPSS V.23 dengan data berbentuk tabel dan grafik. Pengujian dilakukan dalam analisis kolerasi sederhana. Kolerasi sederhana adalah uji untuk mengetahui keeratan hubungan antara dua variable dan untuk mengetahui arah hubungan yang terjadi dengan alat analisis *correlate* dan *t-test*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada benda uji dengan campuran agregat halus dan batu pecah ,nilai CA yang digunakan sebesar 78,7%, nilai FA 17,0%, serta filler sebanyak 4,3%, maka didapat kadar aspal ideal sebagai berikut:

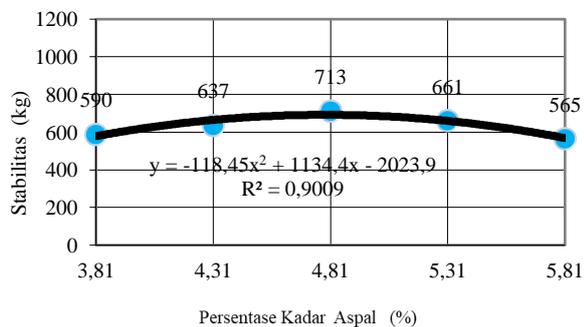
$$\begin{aligned} P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%Filler)+K \\ &= 0,035 (78,7\%) + 0,045 (17,0\%) + 0,18 (4,3\%) + 0,5 \\ &= 4,81 \% \end{aligned}$$

Sehingga % kadar aspal untuk benda uji adalah 3,81%, 4,31%, 4,81%, 5,31% dan 5,81%. Hasil pengujian *marshall* yang dilakukan pada variasi kadar aspal ideal menggunakan filler semen untuk benda uji, dengan tumbukan 2 x 50, diperoleh parameter *marshall* seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

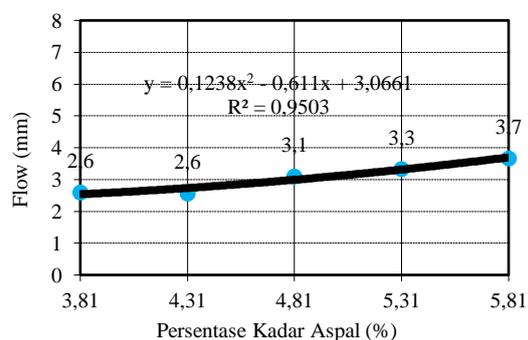
Tabel 1. Nilai parameter *Marshall* pada variasi kadar aspal

No	Parameter Marshall	Variasi Kadar Aspal (3,81-5,81)					Spesifikasi AAPA 2004
		3,81	4,31	4,81	5,31	5,81	
1	Stabilitas (Kg)	590	637	713	661	565	Min.500
2	Flow (mm)	2,6	2,6	3,1	3,3	3,7	2 – 4
3	VIM(%)	25,5	22,96	21,2	18,8	16,2	18 – 25
4	MQ (kg/mm)	246,5	273,8	240,5	202,3	157,0	Maks. 400

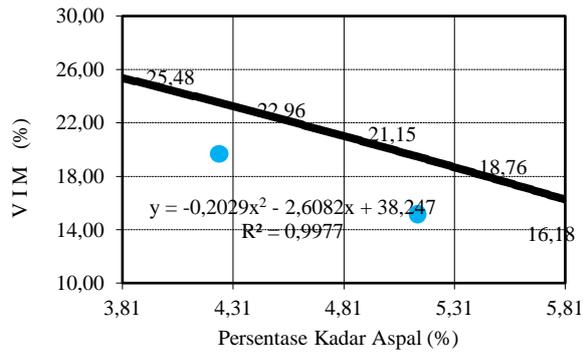
Hubungan kadar aspal dengan parameter marshall seperti diperlihatkan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 4.



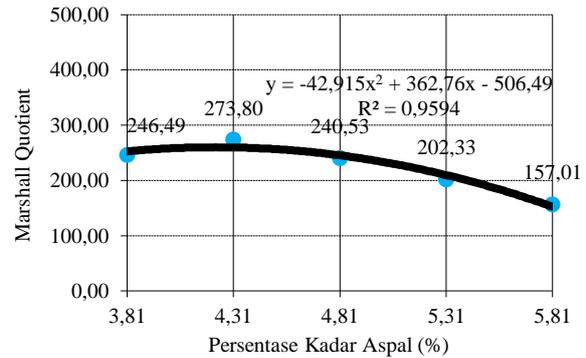
Gambar 1. Hubungan Prsentase Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas



Gambar 2. Hubungan Persentase Kadar Aspal dengan Nilai Flow



Gambar 3. Hubungan Persentase Kadar Aspal dengan Nilai VIM



Gambar 4. Hubungan Persentase Kadar Aspal dengan Nilai MQ

Berdasarkan Parameter Marshall pada Gambar 2 dan Gambar 4 kemudian dievaluasi sehingga didapat kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum ditentukan berdasarkan titik puncak/titik balik dari sebuah garis lengkung/kurva pada grafik parameter marshall atau salah satu parameter marshall yang menunjukkan batas persentase tertinggi penggunaan aspal dalam campuran tetinggi atau titik perubahan dari garis grafik menjadi turun. Hasil pengujian Marshall yang menunjukkan bahwa kadar aspal optimum yang dihasilkan yaitu sebesar 4,31%.

Berikut ini nilai sifat fisis bitumen gabungan antara abu arang kayu dengan KAO dan nilai parameter kinerja struktural dan kinerja fungsional berdasarkan persentase abu arang kayu dengan KAO yang ditampilkan dalam bentuk Tabel 2 dan Tabel 3 berikut;

Tabel 2. Nilai sifat fisis Bitumen Gabungan

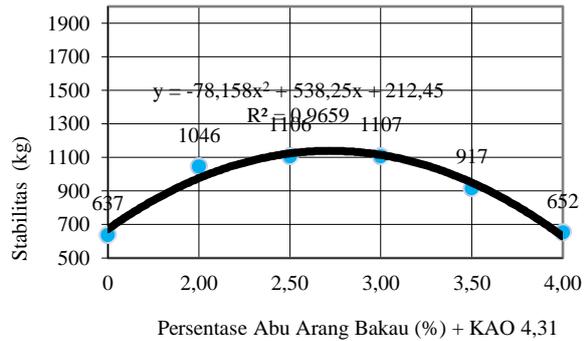
No	Sifat Fisis Aspal	Variasi Abu arang kayu						Spesifikasi Bina Marga 2018
		0%	2%	2,5%	3%	3,5%	4%	
1	Berat Jenis	1.116	1.128	1.131	1.134	1.138	1.141	1.00-1.30
2	Penetrasi	65,1	65,7	66,8	67,2	67,8	68,0	60-70
3	Titik Lembek	51,00	50,85	50,60	50,50	50,35	50,05	48°C-58°C

Berdasarkan Tabel 2 hubungan penambahan filler abu arang kayu sebesar 2%-4% dengan aspal menunjukkan peningkatan pada nilai berat jenis yaitu 1,116 – 1,141 gr/cm³ dan nilai penetrasi yaitu 65,1 – 68,00. Sedangkan pada nilai titik lembek hubungan abu arang kayu sebesar 2% - 4% menunjukkan penurunan yaitu 51,00°C – 50,05°C.

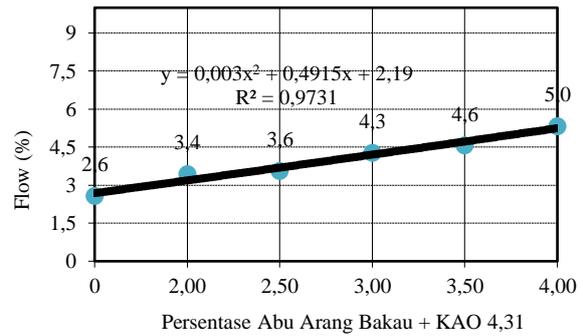
Tabel 3. Nilai Parameter Kinerja Struktural dan Kinerja Fungsional

No	Persentase Kadar Abu arang kayu (%)	Parameter Kinerja Struktural				Parameter Kinerja Fungsional	
		Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VIM (%)	MQ (Kg/mm)	Koefisien Permeabilitas (cm/det)	Kecepatan Aliran (detik)
1	0%	637	2,6	22,4	273,8	0,244	8,06
2	2%	1046	3,4	21,10	311,0	0,243	8,13
3	2,5%	1106	3,6	20,34	312,8	0,240	8,33
4	3%	1107	4,3	19,66	268,5	0,238	8,35
5	3,5%	925	4,6	19,33	199,5	0,237	8,93
6	4%	652	5,0	18,81	124,9	0,235	9,43

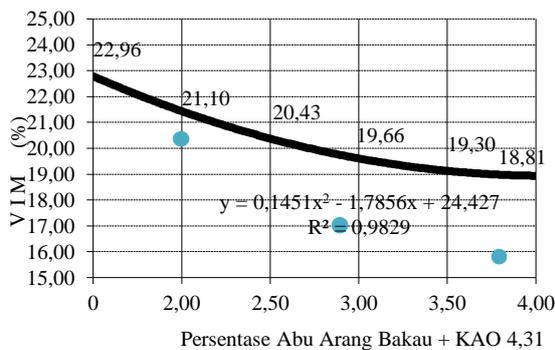
Parameter berdasarkan persentase abu arang kayu dengan KAO yang ditampilkan dalam bentuk Gambar 5 sampai 9 berikut :



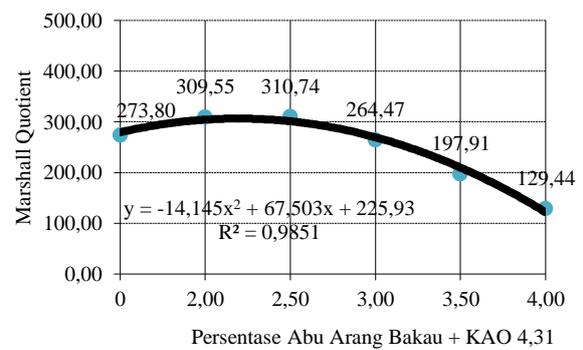
Gambar 5. Hubungan Persentase AAB + KAO 4,31 dengan Nilai Stabilitas



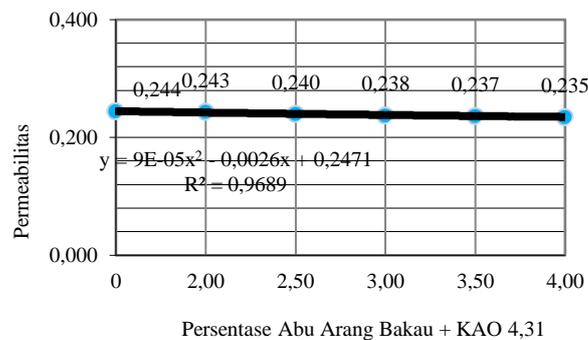
Gambar 6. Hubungan Persentase AAB + KAO 4,31 dengan Flow



Gambar 7. Hubungan Persentase AAB + KAO 4,31 dengan VIM



Gambar 8. Hubungan Persentase AAB + KAO 4,31 dengan MQ



Gambar 9. Hubungan Persentase AAB + KAO 4,31 dengan Permeabilitas

Hasil pengujian Marshall pada benda uji aspal beton porous dengan penambahan abu arang kayu (2% - 4%) pada KAO, dengan tumbukan 2 x 50, diperoleh nilai parameter Marshall seperti diperlihatkan pada Tabel 3, dan divisualisasikan dengan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 9, menunjukkan bahwa nilai permeabilitas, stabilitas, flow, VIM dan MQ.

Gambar 5 hubungan stabilitas dengan persentase kadar abu arang kayu menunjukkan campuran porous dengan kandungan abu arang kayu sebanyak 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4%, memenuhi syarat spesifikasi stabilitas >500 kg. Kadar abu arang kayu 0% memiliki nilai stabilitas sebesar 637 kg, kadar abu arang kayu 2% memiliki nilai stabilitas sebesar 1046 kg, kadar abu arang kayu 2,5% memiliki nilai stabilitas sebesar 1106 kg, kadar abu arang kayu 3% memiliki nilai stabilitas sebesar 1107 kg, kadar abu arang kayu 3,5% memiliki nilai stabilitas sebesar 925 kg dan kadar abu arang kayu 4% memiliki nilai stabilitas sebesar 652 kg.

Penambahan kadar abu arang kayu 0%-3% menghasilkan nilai stabilitas mengalami kenaikan, menunjukkan bahwa benda uji dengan kadar abu arang kayu 0%-3% mampu

menghasilkan benda uji yang kuat dalam menerima beban tetapi pada kadar 3,5%-4% terjadinya penurunan terhadap nilai stabilitas, kemungkinan terjadinya penurunan nilai stabilitas dikarenakan dengan bertambahnya persentase filler abu arang kayu pada campuran benda uji mengakibatkan campuran pada benda uji semakin padat sehingga benda uji rentan untuk patah hal ini ketika diberi beban mengakibatkan nilai stabilitas pada persentase kadar 3,5% -4% mengalami penurunan. Benda uji yang menggunakan kadar abu arang kayu 3,5% - 4% tidak kuat dalam menerima beban.

Hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi antara abu arang kayu dengan stabilitas (r) 0,977. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat kuat antara abu arang kayu dengan stabilitas dengan persentase stabilitas berada di rentang 0,80 – 1,000. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi penambahan kadar abu arang kayu maka semakin meningkatnya nilai stabilitas. Dari hasil analisis t-test nilai t hitung $>$ t tabel ($8.602 > 3.182$) dan signifikansi ($0,003 < 0,05$), maka H_0 ditolak, artinya bahwa ada hubungan secara signifikan antara kadar abu arang kayu dengan stabilitas. Karena t hitung nilainya positif, maka berarti kadar abu arang kayu berhubungan positif dan signifikan terhadap stabilitas. Jadi dalam kasus ini dapat disimpulkan bahwa kadar abu arang kayu berhubungan positif terhadap stabilitas.

Gambar 6 hubungan flow dengan persentase kadar abu arang kayu menunjukkan campuran porous dengan kandungan abu arang kayu sebanyak 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4%, memenuhi syarat spesifikasi flow 2 – 6 mm. Kadar abu arang kayu 0% diperoleh hasil 2,6 mm, kadar abu arang kayu 2% diperoleh hasil 3.4 mm, kadar abu arang kayu 2,5% diperoleh hasil 3.6 mm, kadar abu arang kayu 3% diperoleh hasil 4,3 mm, kadar abu arang kayu 3,5% diperoleh hasil 3.46 mm, kadar abu arang kayu 4% diperoleh hasil 5,0 mm.

Kadar abu arang kayu 0% sampai dengan 4% nilai flow meningkat dari 2,6 mm menjadi 5,0 mm menandakan bahwa nilai flow mengalami peningkatan pada kadar abu arang kayu 0%-3% dapat disimpulkan bahwa semakin banyak bertambahnya abu arang kayu kedalam campuran maka nilai flow semakin tinggi sehingga benda uji yang dihasilkan masih bersifat plastis tetapi pada kadar 3,5%-4% nilai flow mengalami peningkatan tetapi benda uji yang dihasilkan sudah bersifat kaku yang dibuktikan dengan menurun nilai stabilitasnya.

Hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi antara kadar abu arang kayu dengan flow (r) 0,971. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat kuat antara kadar abu arang kayu dengan flow dengan persentase flow berada di rentang 0,80 – 1,000. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kadar abu arang kayu semakin meningkat nilai flow. Dari hasil analisis t-test nilai t hitung $>$ t tabel ($10,751 > 2,571$) dan signifikansi ($0,000 < 0,05$), maka H_0 ditolak, artinya bahwa ada hubungan secara signifikan antara kadar abu arang kayu dengan flow. Karena t hitung nilainya positif, maka berarti kadar abu arang kayu berhubungan positif dan signifikan terhadap flow. Jadi dalam kasus ini dapat disimpulkan bahwa kadar abu arang kayu berhubungan positif terhadap flow.

Gambar 7 hubungan VIM dengan persentase kadar abu arang kayu menunjukkan campuran porous dengan kandungan abu arang kayu sebanyak 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4%, memenuhi syarat spesifikasi VIM 18% - 25%. Nilai VIM menurun dari persentase kadar abu arabg bakau 0% sampai dengan 4% dengan nilai VIM dari 22,96% – 18,81%.

Nilai VIM yang rendah menunjukkan bahwa rongga dalam campuran benda uji kecil yang di akibatkan oleh filler abu arang kayu. Filler abu arang kayu menyebabkan kekentalan pada aspal, sehingga terjadinya penebalan film aspal yang dapat mengakibatkan berkurangnya pori pada aspal, akan tetapi pada penelitian ini semua nilai VIM memenuhi persyaratan. Hasil analisis korelasi sederhana (r) pada didapat korelasi antara kadar abu arang kayu dengan VIM (r) -0,991. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat kuat antara kadar abu arang kayu dengan VIM dengan persentase VIM berada di rentang 0,80 -

1000. Sedangkan arah hubungan adalah negative karena nilai r negatif, berarti semakin tinggi kadar abu arang kayu semakin menurun persentase VIM. Dari hasil analisis t-test nilai t hitung $> t$ tabel ($33,339 > 2,571$) dan signifikansi ($0,000 < 0,05$), maka H_0 ditolak, artinya bahwa ada hubungan secara signifikan antara kadar abu arang kayu dengan VIM. Karena t hitung nilainya positif, maka berarti kadar abu arang kayu berhubungan positif dan signifikan terhadap VIM. Jadi dalam kasus ini dapat disimpulkan bahwa kadar abu arang kayu berhubungan positif terhadap VIM.

Gambar 8 hubungan MQ dengan persentase kadar abu arang kayu menunjukkan campuran porous dengan kandungan abu arang kayu sebanyak 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4%, memenuhi syarat spesifikasi MQ Maks. 400 Kg/mm. Kadar abu arang kayu dengan persentase 0% diperoleh hasil 273,80 kg/mm, kadar abu arang kayu 2% diperoleh hasil 309,55 kg/mm, kadar abu arang kayu 2,5% diperoleh hasil 310,74 kg/mm, kadar abu arang kayu 3% diperoleh hasil 264,47 kg/mm, kadar abu arang kayu 3,50% diperoleh hasil 197,91 kg.mm dan kadar abu arang kayu 4% diperoleh hasil 129,44 kg/mm.

Kenaikan nilai MQ dipengaruhi oleh stabilitas dan flow pada campuran. Campuran yang memiliki nilai MQ yang terlalu tinggi berpengaruh kepada campuran yang bersifat kaku dan fleksibilitasnya rendah sehingga campuran akan lebih mudah mengalami retakan (Cracking). Hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi antara kadar abu arang kayu dengan MQ (r) 0,989. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat kuat antara kadar abu arang kayu dengan MQ dengan persentase MQ berada di rentang 0,80 – 1,000. Sedangkan arah hubungan adalah positif karena nilai r positif, berarti semakin tinggi kadar abu arang kayu semakin meningkat persentase MQ. Dari hasil analisis t-test nilai t hitung $> t$ tabel ($23,541 > 4,303$) dan signifikansi ($0,002 < 0,05$), maka H_0 ditolak, artinya bahwa ada hubungan secara signifikan antara kadar abu arang kayu dengan MQ. Maka H_0 ditolak, artinya bahwa ada hubungan secara signifikan antara kadar abu arang kayu dengan MQ. Karena t hitung nilainya positif, maka berarti kadar abu arang kayu berhubungan positif dan signifikan terhadap MQ. Jadi dalam kasus ini dapat disimpulkan bahwa kadar abu arang kayu berhubungan positif terhadap MQ.

Gambar 9 hubungan permeabilitas dengan persentase kadar abu arang kayu menunjukkan campuran porous dengan kandungan abu arang kayu sebanyak 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4%, memenuhi syarat spesifikasi permeabilitas 0,1 – 0,5 cm/s. Kadar abu arang kayu 0% nilai permeabilitas sebesar 0,244 cm/s dengan kecepatan aliran 8,06 detik, kadar abu arang kayu 2% nilai permeabilitas sebesar 0,243 cm/s dengan kecepatan aliran 8,13 detik, kadar abu arang kayu 2,5% nilai permeabilitas sebesar 0,240 cm/s dengan kecepatan aliran 8,33 detik, kadar abu arang kayu 3% nilai permeabilitas sebesar 0,238 cm/s dengan kecepatan aliran 8,38 detik, kadar abu arang kayu 3,5% nilai permeabilitas sebesar 0,237 cm/s dengan kecepatan aliran 8,93 detik, dan kadar abu arang kayu 4% nilai permeabilitas sebesar 0,235 cm/s dengan kecepatan aliran 9,14 detik.

Semakin besar penambahan kadar abu arang kayu di dalam campuran aspal beton porous maka nilai permeabilitas yang diperoleh mengalami penurunan begitu pula dengan kecepatan aliran yang mengalami perlambatan. Hal tersebut terjadi akibat abu arang kayu membuat aspal menjadi lebih kental sehingga pori pada benda uji semakin tertutup oleh film aspal yang semakin tebal.

Hasil analisis korelasi sederhana (r) didapat korelasi antara kadar abu arang kayu dengan permeabilitas (r) -0,927. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat kuat antara kadar abu arang kayu dengan permeabilitas dengan persentase permeabilitas berada di rentang 0,80 – 0,100. Sedangkan arah hubungan adalah negatif karena nilai r negatif, berarti semakin tinggi kadar abu arang kayu semakin menurun persentase permeabilitas. Dari hasil analisis t-test nilai t hitung $> t$ tabel ($167,274 > 2,571$) dan signifikansi ($0,000 < 0,05$), maka H_0 ditolak, artinya bahwa tidak ada hubungan secara

signifikan antara kadar abu arang kayu dengan permeabilitas. Karena t hitung nilainya positif, maka berarti kadar abu arang kayu berhubungan positif tetapi tidak signifikan terhadap permeabilitas. Jadi dalam kasus ini dapat disimpulkan bahwa kadar abu arang kayu berhubungan positif terhadap permeabilitas.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data kinerja struktural dan fungsional aspal beton porous, diperoleh hasil kinerja struktural aspal beton porous dengan penambahan abu arang kayu sebesar 0% - 4% memberikan dampak yang signifikan pada campuran. Seiring dengan penambahan abu arang kayu ke dalam campuran aspal beton porous mampu meningkatkan kinerja strukturalnya hingga mencapai nilai optimum pada penggunaan persentase kadar 2,5% dengan nilai stabilitas dari 637 kg sampai 1106 kg, peningkatan nilai flow dari 2,6 mm sampai 3,6 mm dan peningkatan nilai MQ dari 273,80 kg/mm sampai 310,74. kg/mm. Pada kinerja fungsionalnya dengan penambahan abu arang kayu ke dalam campuran aspal beton porous berbanding terbalik dengan kinerja strukturalnya, yaitu mengalami penurunan pada nilai VIM dari 22,4% sampai 20,34%, waktu pengaliran air menurun dari 0,244 cm/det sampai 0,228 cm/dt dan kecepatan aliran mengalami peningkatan dari 8,06 detik – 9,43 detik akibat bertambahnya kadar abu arang kayu sehingga tertutupnya rongga pada campuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Arlia, L., Saleh, S. M., & Anggraini, R. (2018). Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 657-666.
- Aslan, Y., Arsyad, I., M., & Abidin, Z. (2021). Studi Pemanfaatan Arang Kayu Bakau Untuk Perbaikan Resistansi Pentanahan Menggunakan jenis Elektroda Plat Berbentuk Persegi. *Jurnal Teknik Elektro Tanjungpura*, 2(01).
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2019. Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 1). Jakarta : Ditjen Bina Marga kementerian PU.
- Gusty, S., Indrayani, P., & Wasolo, I., G. (2022) Pengaruh Penggunaan Limbah Sabut Kelapa Sebagai Filler Terhadap Kinerja Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Porus. Bandar; *Journal Of Civil Engineering*, 4(2), 7-13.
- Jaya, Zairipan. (2021). Pengaruh Penggunaan Fly Ash Batu Bara Kelas C Sebagai Bahan Pengisi Filler Pada Campuran Aspal Beton Porus. Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Maulana, A. (2022). Studi Karakteristik Marshall Pada Aspal Porus Dengan Penambahan Abu Cangkang Kopi Sebagai Filler. Tugas Akhir. Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Nabilla, F. S., Saleh, S.M., & Mutiawati, C. (2020). Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Buton Granular Asphalt Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus dan Styrofoam Substitusi Aspal Pen 60/70. *Journal of the Civil Engineering Student*, 2(1), 92-9.
- Saodang, H. 2005. *Konstruksi Jalan Raya*. Nova. Bandung.
- Sembung, N.T., Sendow, T.K., & Palenewan, S. C. (2020). Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskaken Kecamatan Tumohon Utara Kota Tumohon. *Jurnal Sipil Statik, Tomohon. Jurnal Sipil Statik*, 8(3).
- Sukirman, Silvia. 2016. *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Thomas, K., M., Mathew, N., V., Rajalekshmi, P., R., Rajalekshmi, S., K., & Koshy, R., Z. (2019) *Water quality and performance assessment of porous asphalt mix modified using charcoal powder. Journal of Sustainable Engineering: Proceedings Series*, 1(2), 123-136.