



JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

1. **PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN BEKAS TERHADAP PARAMETER MARSHALL BETON ASPAL AC-BC**
(Fadhilatul Aula, Miswar, Ibrahim)
2. **EVALUASI ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN JALAN TINGKEM BARO-KUALA CEURAPE KABUPATEN BIREUEN**
(Fatina Arwa, Munardy, Ismail)
3. **KARAKTERISTIK TANAH EKSPANSIF YANG DISTABILISASIKAN DENGAN BAHAN TAMBAH GEOPOLIMER METAKAOLIN**
(Geubrina Rayyan Putri, Andrian Kaifan, Hanif)
4. **PENGARUH PENGGUNAAN NILAI FINE MODULUS AGREGAT HALUS DAN VOLUME FOAM TERHADAP KUAT TEKAN BETON RINGAN**
(Ghaitsa Zahira Sabila, Syamsul Bahri, Khairul Miswar)
5. **KARAKTERISTIK PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI (ASP) SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN LASTON ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC)**
(Miftahul Jannah, Sulaiman Ar, Teuku Riyadhshyah)
6. **ANALISIS KETERLAMBATAN PROYEK PENINGKATAN STRUKTUR JALAN BINTANG HU-BUKET HAGU SEKSI I LHOKSUKON (METODE FAULT TREE ANALYSIS)**
(Muhammad Rafli Zulmy, Zulfikar A Makam, Abdul Muhyi)
7. **ANALISIS KERUSAKAN JALAN DAN PENANGANAN DENGAN METODE BINA MARGA (STUDI KASUS: JALAN SIMPANG KKA STA 42+000 S/D 44+000)**
(Muhammad Sandi Syahputra, Gustina Fitri, Abdullah Irwansyah)
8. **STUDI STABILISASI URUGAN PILIHAN MENGGUNAKAN FLY ASH UNTUK LAPIS PONDASI JALAN**
(Putri Balqis, Mulizar, Fauzi A Gani)
9. **RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN PADA PROYEK PENINGKATAN JALAN SDN PANGGOI-PAYA BILI KOTA LHOKEUMAWE**
(Suheimi, Bakhtiar A, Iponsyahputra bin Amiruddin)
10. **PENGARUH PENAMBAHAN POFA DENGAN TANAH LEMPUNG UNTUK MENINGKATKAN DAYA DUKUNG TANAH BERDASARKAN NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO**
(Yulia Zahara, Gusrizal, Muhammad Reza)

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. PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN BEKAS TERHADAP PARAMETER MARSHALL BETON ASPAL AC-BC (Fadhilatul Aula, Miswar, Ibrahim)	1-8
2. EVALUASI ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN JALAN TINGKEM BARO-KUALA CEURAPE KABUPATEN BIREUEN (Fatina Arwa, Munardy, Ismail)	9-15
3. KARAKTERISTIK TANAH EKSPANSIF YANG DISTABILISASIKAN DENGAN BAHAN TAMBAH GEOPOLIMER METAKAOLIN (Geubrina Rayyan Putri, Andrian Kaifan, Hanif).....	16-21
4. PENGARUH PENGGUNAAN NILAI FINE MODULUS AGREGAT HALUS DAN VOLUME FOAM TERHADAP KUAT TEKAN BETON RINGAN (Ghaisa Zahira Sabila, Syamsul Bahri, Khairul Miswar).....	22-27
5. KARAKTERISTIK PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI (ASP) SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN LASTON ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC) (Miftahul Jannah, Sulaiman Ar, Teuku Riyadhshyah).....	28-34
6. ANALISIS KETERLAMBATAN PROYEK PENINGKATAN STRUKTUR JALAN BINTANG HUBUKET HAGU SEKSI I LHOKSUKON (METODE FAULT TREE ANALYSIS) (Muhammad Rafli Zulmy, Zulfikar A Makam, Abdul Muhyi).....	35-42
7. ANALISIS KERUSAKAN JALAN DAN PENANGANAN DENGAN METODE BINA MARGA (STUDI KASUS: JALAN SIMPANG KKA STA 42+000 S/D 44+000) (Muhammad Sandi Syahputra, Gustina Fitri, Abdullah Irwansyah).....	43-50
8. STUDI STABILISASI URUGAN PILIHAN MENGGUNAKAN FLY ASH UNTUK LAPIS PONDASI JALAN (Putri Balqis, Mulizar, Fauzi A Gani).....	51-56
9. RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN PADA PROYEK PENINGKATAN JALAN SDN PANGGOI-PAYA BILI KOTA LHOKSEUMAWE (Suheimi, Bakhtiar A, Iponsyahputra bin Amiruddin).....	57-60
10. PENGARUH PENAMBAHAN POFA DENGAN TANAH LEMPUNG UNTUK MENINGKATKAN DAYA DUKUNG TANAH BERDASARKAN NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (Yulia Zahara, Gusrizal, Muhammad Reza).....	61-67
Petunjuk Penulisan Artikel Ilmiah	68

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 02 Edisi September 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 02 Edisi September 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

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN BEKAS TERHADAP PARAMETER MARSHALL BETON ASPAL AC-BC

Fadhilatul Aula¹, Miswar², Ibrahim³

- ¹⁾ Mahasiswa, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email : aulafadhilatul047@gmail.com
- ²⁾ Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email : miswarsipil65@pnl.ac.id
- ³⁾ Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email : ibrahim@pnl.ac.id

ABSTRAK

Beton aspal merupakan bahan yang populer dalam pembangunan jalan karena kemampuannya untuk memberikan permukaan jalan yang halus dan tahan lama serta mampu menahan beban lalu lintas yang tinggi. Namun demikian, pembuatan beton aspal memiliki sejumlah kendala, terutama dalam hal konsumsi sumber daya alam dan dampak terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan limbah ban bekas terhadap karakteristik Marshall pada campuran beton aspal AC-BC. Dalam penelitian ini, limbah ban bekas digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal dengan variasi konsentrasi 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%. Pengujian dilakukan sesuai dengan metode Marshall untuk menilai parameter-parameter seperti stabilitas, flow, VIM (Void in Mix), VMA (Void in Mineral Aggregate), VFB (Void Filled with Bitumen), dan kepadatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah ban bekas mempengaruhi beberapa parameter penting. Nilai stabilitas meningkat hingga penambahan 3% limbah ban bekas, namun menurun pada konsentrasi 4%. Flow dan VMA cenderung meningkat dengan penambahan limbah ban, sementara VIM dan VFB menunjukkan variasi tergantung pada konsentrasi yang digunakan. Secara keseluruhan, penggunaan limbah ban bekas dalam campuran aspal dapat menjadi alternatif yang berkelanjutan untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan sambil mengurangi limbah ban yang merugikan lingkungan. Studi ini merekomendasikan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan komposisi dan mengevaluasi kinerja jangka panjang campuran beton aspal yang dimodifikasi.

Kata Kunci: Limbah ban bekas, Parameter Marshall, beton aspal AC-BC, kinerja perkerasan jalan

I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan jangka panjang dan berkualitas tinggi sangat penting untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Beton aspal merupakan bahan yang populer dalam pembangunan jalan karena kemampuannya untuk memberikan permukaan jalan yang halus dan tahan lama serta mampu menahan beban lalu lintas yang tinggi. Namun demikian, pembuatan beton aspal memiliki sejumlah kendala, terutama dalam hal konsumsi sumber daya alam dan dampak terhadap lingkungan.

Penanganan limbah ban bekas menimbulkan masalah yang signifikan karena ban mengandung unsur-unsur yang tidak dapat terurai secara hayati yang berpotensi merusak lingkungan. Selain itu, penumpukan ban bekas di tempat pembuangan akhir dapat menimbulkan ancaman kebakaran dan menjadi habitat vektor penyakit. Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk memanfaatkan kembali sampah ban bekas, yang tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga menambah nilai tambah. (ASRI, J., Kurniasari, F. D., & Bunyamin, B, 2022).

Solusi yang dapat diambil untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan memasukkan serbuk ban bekas sebagai bahan campuran dalam beton aspal. Penambahan serbuk ini diperkirakan dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik dari material tersebut. Dalam

konteks ini, parameter Marshall memberikan indikasi penting terhadap kualitas beton aspal. Parameter Marshall terdiri dari beberapa karakteristik, salah satunya yaitu stabilitas atau kemampuan campuran aspal untuk menahan canggaan plastis ketika menerima beban lalu lintas di atasnya. Parameter terkait lainnya meliputi *Flow* (kelelehan), *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Bitumen* (VFB). (Fannisa, H., & Wahyudi, M, 2010).

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menganalisis sifat – sifat fisis yang mempengaruhi agregat, menentukan Karakteristik Parameter Marshall Pada Lapisan Beton Aspal AC-BC yang disubstitusi dengan limbah ban bekas dan menemukan persentase terbaik dari substitusi limbah karet ban bekas yang menghasilkan kinerja optimal pada lapisan beton aspal AC-BC.

A. Limbah Bahan Karet ban bekas

Ban terdiri dari karet padat atau polimer yang dicampur dengan serat sintetis dan logam. Ban bekas memiliki karakteristik yang berbeda seperti kekuatan tarik yang kuat, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap pergeseran. Ban bekas, yang merupakan limbah industri, dapat ditambahkan ke dalam aspal. Ban bekas diprediksi dapat meningkatkan kualitas aspal dengan memenuhi kriteria pengikat aspal dan atribut lapisan beton aspal seperti kekokohan, fleksibilitas, dan daya tahan (Mashuri, 2022).

B. Agregat

Kualitas agregat, atau dalam hal ini batu alam yang telah diproses, memiliki pengaruh besar terhadap kinerja perkerasan jalan karena agregat membentuk sebagian besar lapisan perkerasan dan menyumbang 90-95% berat atau 70-85% volume struktur perkerasan. Dapat dilihat pada tabel 1 gradasi agregat untuk campuran aspal.

Tabel 1. Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

No saringan	Ukuran ayakan (mm)	% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran Laston (AC)					
		Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
		WC	BC	Base	WC	BC	Base
	37.5			100			100
1"	25		100	90-100		100	90-100
3/4"	19	100	90-100	73-90	100	90-100	73-90
1/2"	12.5	90-100	74-90	61-79	90-100	71-90	55-75
3/8"	9.5	72-90	66-82	47-67	72-90	58-80	45-66
#4	4.75	54-69	46-64	39.5-50	43-63	37-56	28-39.5
#8	2.36	39.1-53	30-49	30.8-37	28-39.1	23-34.6	19-26.8
#16	1.18	31.6-40	18-38	24.1-28	19-25.6	15-22.3	12-18.1
#30	0.6	23.1-30	12-28	17.6-22	13-19.1	10-16.7	7-13.6
#50	0.3	15.5-22	7-20	11.4-16	9-15.5	7-13.7	5-11.4
#100	0.15	9-15	5-13	4-10	6-13	5-11	4.5-9
#200	0.075	4-10	4-8	3-6	4-10	4-8	3-7

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Bina Marga, Spesifikasi Umum 2010

II. METODOLOGI

Adapun lokasi pengambilan material pengujian dari *Stone Crusser* CV. Zikra Jaya Group, Desa kareung Kec. Blang mangat, Kota Lhokseumawe.



Gambar 1 Peta lokasi pengambilan material pengujian

A. *Material*

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat. Agregat dari *Stone Crusher* CV. Zikra Jaya Group digunakan sebagai bahan dalam penelitian ini.
2. Jenis aspal. Aspal yang digunakan adalah aspal cangkang, yang sering dikenal sebagai aspal penetrasi 60/70.
3. Limbah bahan karet. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan ban dalam bekas.

B. *Data*

Adapun data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

1. Data Primer. Data primer diperoleh dari hasil pengamatan pengujian pada Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe. Pengujian ini meliputi pemeriksaan aspal, pemeriksaan agregat, ekstraksi aspal, substitusi agregat, dan pengujian marshall.
2. Data Sekunder. Data sekunder merupakan data pendukung yang diperlukan dalam penelitian. Dalam penelitian ini data sekunder yang digunakan berupa map lokasi pengambilan sampel.

C. *Rancangan Benda Uji*

Aspal dan agregat yang memenuhi persyaratan digabungkan sesuai komposisinya. Kemudian dilakukan perhitungan persentase *split*, *screen*, *dust* dan pasir dari berat total campuran. Berbagai kadar aspal yang digunakan dalam campuran adalah (Pb -1%), (Pb -0,5%), (Pb 0%), (Pb +0,5%), dan (Pb +1%). Setiap variasi kadar aspal dibuat tiga benda uji, sehingga total benda uji adalah 15. Campuran aspal dan agregat dipanaskan hingga suhu sekitar 160°C, kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dengan diameter 10 cm dan tinggi 3-4 inci. Selanjutnya, campuran dipadatkan menggunakan alat penumbuk standar dengan berat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh bebas rata-rata 46 cm, dilakukan sebanyak 2 x 75 tumbukan untuk kondisi lalu lintas berat. Rancangan benda uji dilampirkan pada tabel 2 :

Tabel 2 Rancangan Benda uji dengan KAO Penambahan Ban Bekas

No	Jumlah Tumbukan	Jumlah Benda Uji				
		0%	1%	2%	3%	4%
1	2 x 75	3	3	3	3	3
Jumlah Benda uji		3	3	3	3	3

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan berbagai data, antara lain hasil analisis gradasi agregat, data sifat fisik agregat, data sifat fisik aspal, hasil uji Marshall, dan hasil kadar aspal optimal (KAO).

A. Data hasil pemeriksaan sifat fisis agregat

Sifat fisis agregat yang diteliti meliputi berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar, daya rekat agregat terhadap aspal, dan keausan. Parameter fisis agregat, seperti yang tercantum dalam tabel 3, menghasilkan hasil sebagai berikut.

Tabel 3 Sifat-sifat fisis agregat

Jenis Agregat	Penyerapan		Berat Jenis	
	Hasil	Spesifikasi	Hasil	Spesifikasi
1 Split	1,09	< 3% Berat	2,62	$\geq 2,50$
2 Screen	1,05	< 3% Berat	2,61	$\geq 2,50$
3 Dust Stone	2,61	< 3% Berat	2,67	$\geq 2,50$
4 Pasir	2,199	< 3% Berat	2,71	$> 2,50$

B. Percobaan marshall pada kadar aspal optimum (KAO)

Hasil yang diperoleh dari pembuatan tiga benda uji dengan total dua kali 75 tumbukan per benda uji disajikan pada tabel 4.

Tabel 4 Data hasil pengujian marshall pada kadar aspal optimum (KAO)

No.	Parameter Marshall	Kadar Aspal Otimum (KAO) 5,5%	Spesifikasi Umum 2018
1	Stabilitas (kg)	1682	800
2	Flow (mm)	2,19	>3
3	VIM (%)	3	3 – 5
4	VFB (%)	3,9	>60
5	Density (gr/cm ³)	14,7	>2
6	VMA (%)	81,3	>15
7	MQ (kN/mm)	534	>200

C. Nilai Marshall berdasarkan persentase kadar variasi Limbah Ban Bekas

Berikut nilai Marshall berdasarkan proporsi kandungan limbah ban yang ditunjukkan dalam bentuk tabel 5:

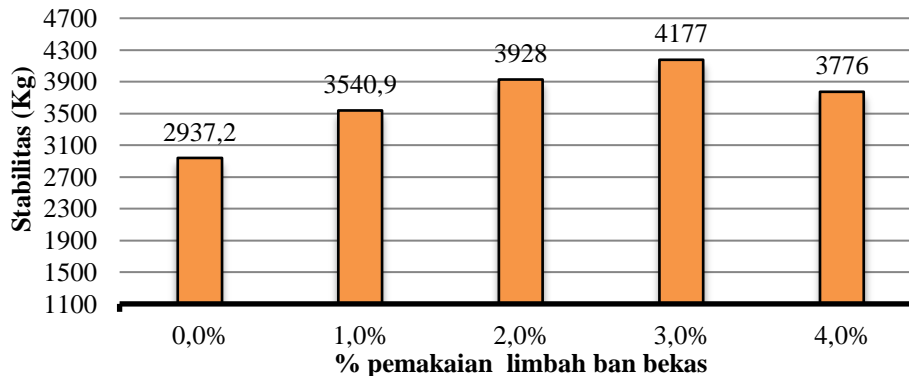
Tabel 5 Data hasil pengujian marshall dengan campuran variasi Limbah Ban Bekas

Kadar Variasi Limbah Ban (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	MQ (kN/mm)	Density (gr/cm ³)
0%	2937	3,4	12,8	3,4	83,8	837,0	2,242
1%	3541	3,6	12,9	3,6	83,5	1010,3	2,239
2%	3928	3,0	17,4	3,0	79,6	1121,8	2,253
3%	4177	3,6	17,5	3,0	79,5	1164,9	2,252
4%	3776	3,4	10,3	0,6	89,1	1066,5	2,306

D. Parameter Marshall pada variasi kadar limbah ban bekas

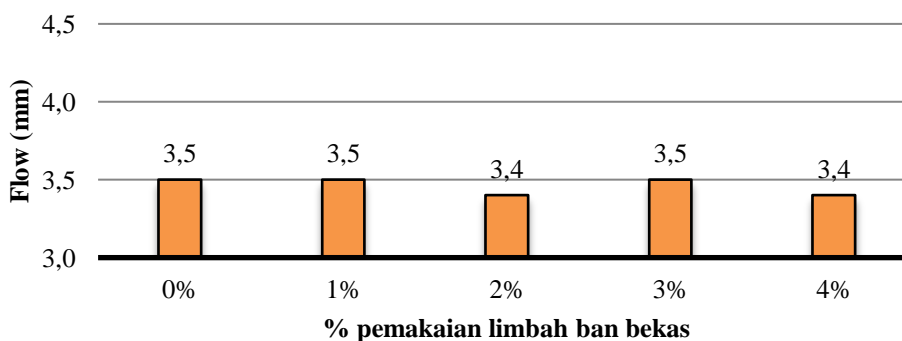
Dari data hasil penelitian gambar 2 ini, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar limbah ban bekas yang ditambahkan ke dalam campuran laston, nilai stabilitas yang diperoleh cenderung meningkat, dimana pada kadar limbah ban bekas 1% nilai stabilitas

cenderung naik dari 2937,2 kg menjadi 3540,9 kg, pada kadar limbah ban bekas 2% nilai stabilitas meningkat dari 3540,9 kg menjadi 3928 kg, pada kadar limbah ban bekas 3% nilai stabilitas kembali naik dari 3928 kg menjadi 4177 kg, dan pada kadar limbah ban bekas 4% nilai stabilitas kembali menurun dari 4177 kg menjadi 3776 kg. Setelah melalui kondisi optimum maka nilai stabilitas akan mengalami penurunan. Setelah melalui kondisi optimum maka nilai stabilitas akan mengalami penurunan. Dari benda uji yang menggunakan bahan tambah ban karet bekas, penambahan limbah ban bekas sebanyak 3% memberikan nilai stabilitas yang paling efektif.



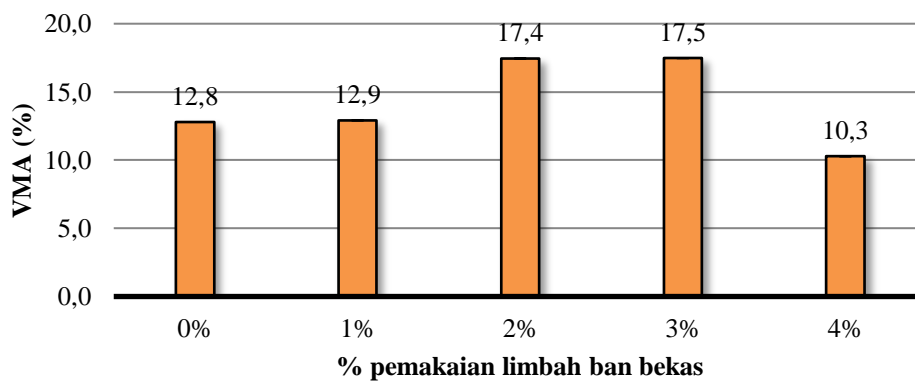
Gambar 2 Diagram hubungan Stabilitas dengan variasi kadar limbah ban bekas

Dari data penelitian gambar 3 ini, dapat dilihat bahwa nilai *flow* cenderung meningkat dari 3,5 mm pada kadar limbah ban bekas 0% menjadi 3,5 mm pada kadar 1%. Selanjutnya nilai *flow* meningkat lagi dari 3,4 mm pada kadar 2% menjadi 3,5 mm pada kadar 3%. Namun, pada kadar limbah ban bekas 4%, nilai *flow* kembali menurun menjadi 3,4 mm. Limbah ban bekas mungkin memiliki kapasitas penyerapan air yang tinggi, yang dapat mengubah viskositas campuran aspal dan menurunkan nilai *flow*. Karena dengan menambahkan ban bekas akan membuat campuran aspal menjadi lebih elastis sehingga lebih tahan terhadap kelelahan plastis dibandingkan dengan aspal beton, maka hasil *flow* benda uji dengan campuran ban bekas meningkat dibandingkan dengan benda uji dengan campuran aspal beton. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, semua benda uji memenuhi kriteria lapis aus campuran laston (AC) dan lapis perkerasan lentur (*intermediate*), dengan nilai *flow* sebesar 2-4 mm, berdasarkan hasil uji *flow*.



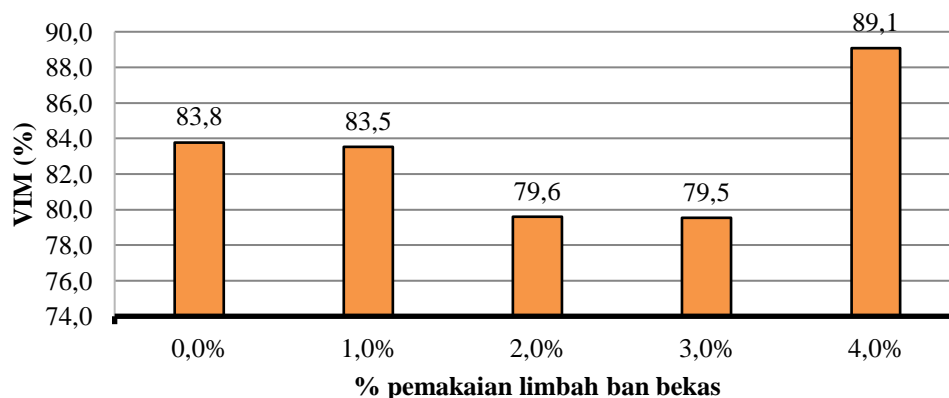
Gambar 3 Diagram hubungan *flow* dengan variasi kadar limbah ban bekas

Data penelitian pada gambar 4 ini menunjukkan bahwa kadar limbah ban bekas menunjukkan bahwa nilai VMA cenderung meningkat dari 0% ke 1% limbah ban bekas dengan nilai VMA 12,8% menjadi 12,9%, kemudian pada kadar limbah ban bekas 2% nilai VMA meningkat dengan nilai VMA 12,9% menjadi 17,4%, dan pada kadar limbah ban bekas 3% nilai VMA kembali menurun dengan nilai VMA 17,5%, kemudian dari kadar limbah ban bekas 3% ke 4% mengalami penurunan dari 17,5 menjadi 10,3. Hal ini menunjukkan bahwa kadar limbah ban bekas berpengaruh terhadap nilai VMA campuran beton aspal + karet ban. Zat aditif karet ban bekas mengisi celah-celah antar partikel pada campuran aspal beton + karet ban bekas. Berdasarkan hasil tersebut, semua benda uji telah memenuhi nilai VMA yang disyaratkan oleh Bina Marga, yaitu 14%. Nilai VMA yang optimum dicapai pada penambahan aspal dengan limbah karet ban sebesar 3%.



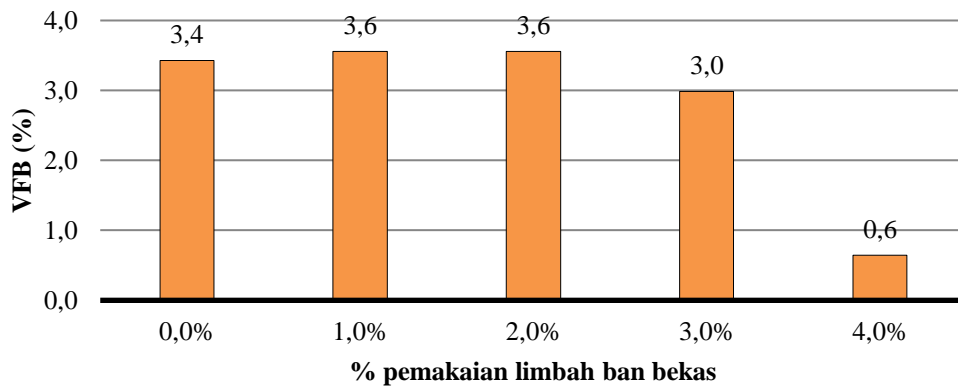
Gambar 4 Diagram hubungan VMA dengan variasi kadar limbah ban bekas

Dari data hasil percobaan Marshall yang ditampilkan pada Gambar 5 ini Diagram hubungan VIM dengan variasi kadar limbah ban bekas menunjukkan bahwa nilai VIM cenderung meningkat dari variasi limbah ban bekas 0% sampai dengan 1% dengan nilai VIM dari 83,8% menjadi 83,5%, kemudian kembali meningkat pada variasi limbah ban bekas 2% dengan nilai VIM 79,6%, dan pada variasi limbah ban bekas 3% nilai VIM cenderung menurun dengan nilai VIM 79,5% kemudian kembali menurun dari 3% ke 4% menjadi 89,1% VFB (*Voids Filled with Bitumen*). Sifat-sifat laston pada ruang udara dalam campuran aspal ini yang sesuai dengan peraturan Bina Marga adalah yang tidak menggunakan tambahan bahan karet ban bekas, Bina Marga mensyaratkan minimal 3% dan maksimal 5%. Hal ini disebabkan karena aspal terhalang oleh lapisan ban karet bekas yang telah ditambahkan untuk mengisi rongga-rongga campuran. Celah yang terjadi semakin besar jika semakin banyak lapisan ban bekas yang digunakan.



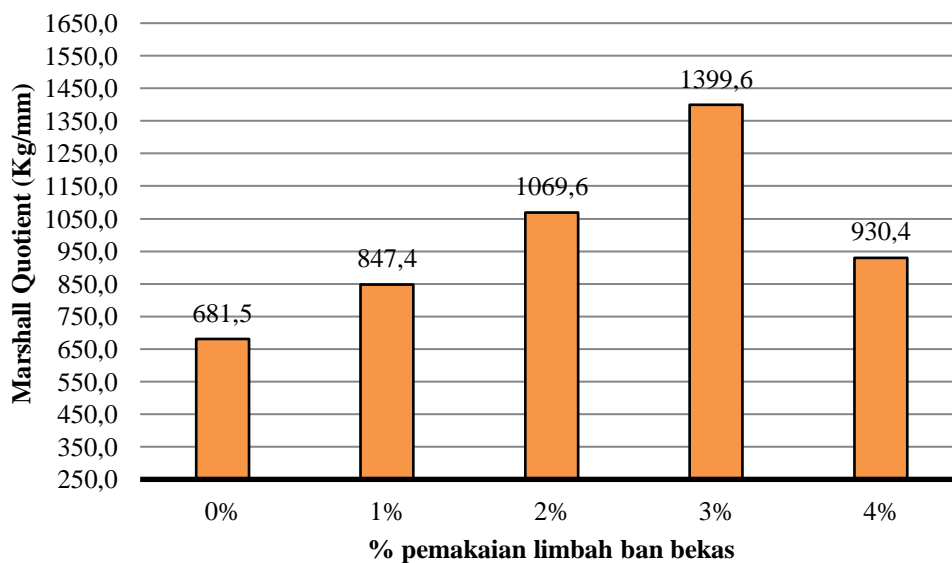
Gambar 5 Diagram hubungan VIM dengan variasi kadar limbah ban bekas

Dapat dilihat dari data penelitian pada gambar 6 ini dimana dari kadar limbah ban bekas ini menunjukkan bahwa nilai VPB cenderung menurun dari limbah ban bekas 0% sampai dengan 1% dengan nilai VPB 3,4% menjadi 3,6%, kemudian pada kadar limbah ban bekas 2% nilai VPB mengalami penurunan dengan nilai VMA 3,6% menjadi 3,0%, dan pada kadar limbah ban bekas 3% nilai VMA kembali menurun dengan nilai VMA 3,0% ,kemudian dari kadar limbah ban bekas 3% ke kadar limbah ban bekas 4% mengalami penurunan dari 3,0% menjadi 0,6%.



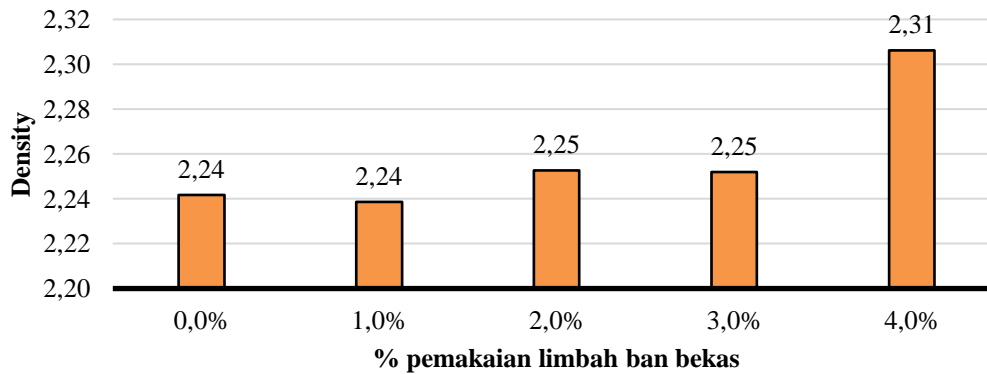
Gambar 6 Diagram hubungan VFB dengan variasi kadar limbah ban Bekas

Dari data penelitian pada gambar 7 ini, terlihat bahwa nilai MQ (*Marshall Quotient*) cenderung meningkat seiring dengan penambahan kadar limbah ban bekas. Nilai MQ meningkat dari 682,5 kg/mm pada kadar limbah ban bekas 0% menjadi 847,4 kg/mm pada kadar 1%. Selanjutnya pada kadar limbah ban bekas 2%, nilai MQ meningkat lagi menjadi 1069,6 kg/mm, dan pada kadar 3%, nilai MQ naik menjadi 1399,6 kg/mm. Namun, pada kadar limbah ban bekas 4%, nilai MQ menurun menjadi 930,4 kg/mm. Hasil analisis Marshall menunjukkan bahwa nilai MQ (*Marshall Quotient*) telah memenuhi persyaratan dari Bina Marga, yang menetapkan batas minimal sebesar 250 kg/mm, sebagaimana dibuktikan oleh grafik di atas yang menunjukkan bahwa semua nilai MQ melebihi batas minimal tersebut.



Gambar 7 Diagram hubungan MQ dengan variasi kadar limbah ban bekas

Berdasarkan hasil *density* bahwa nilai kepadatan tetap konstan meskipun kadar limbah ban bekas meningkat. Pada kadar limbah ban bekas 0%, 1%, nilai kepadatan yang diperoleh adalah 2,24 gr/cm³ untuk masing-masing kadar. Dan dari 2% ke 3% juga memiliki nilai yang sama yaitu 2,25 gr/cm³. dan kembali meningkat ke 4% dengan nilai 2,31 gr/cm³.



Gambar 8 Diagram hubungan *Density* dengan variasi kadar limbah ban bekas

IV. KESIMPULAN

Penambahan limbah ban bekas dalam campuran aspal beton AC-BC memberikan dampak yang signifikan terhadap parameter Marshall, dimana terjadi peningkatan nilai stabilitas. Presentase terbaik dari substitusi limbah karet ban bekas pada lapisan AC-BC dengan variasi dimulai dari 0%, 1%, 2%, 3% dan 4%, dengan hasil pengujian yang sudah dilakukan dan presentase yang didapat adalah 3% mencapai nilai kadar aspal optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- ASRI, J., Kurniasari, F. D., & Bunyamin, B. (2022). pemanfaatan getah karet untuk substitusi aspal modifikasi lapisan asphalt concrete wearing course (Ac-wc) dengan metode basah. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 8(1), 60–68. <https://doi.org/10.35308/jts-utu.v8i1.5051>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2010). Spesifikasi Umum 2010. In Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018 (Issue Revisi 2).
- Fannisa, H., & Wahyudi, M. (2010). Perencanaan Campuran Aspal Beton dengan Menggunakan Filler Kapur Padam. Universitas Diponegoro.
- Mashuri, M. (2022). Pengaruh Serbuk Karet dari Ban Bekas sebagai Bahan Tambah Aspal Pen 60/70 pada Karakteristik Campuran Aspal Porus yang Menggunakan Agregat dari Loli Kota Palu. *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 27–34. <https://doi.org/10.22487/renstra.v3i2.427>