

ANALISIS PENUNJANG UNTUK PERANCANGAN JALAN DENGAN PERKERASAN BERASPAL SEBAGAI INFRASTRUKTUR JALAN YANG ANDAL, MANDIRI, DAN BERKELANJUTAN

Muhammad Fakhri Ali
Universitas Indonesia
muhammad.fakhri12@ui.ac.id

Khansa Ramadianti
Universitas Indonesia
khansa.ramadianti@ui.ac.id

Abstract

The high rate of road construction in Indonesia must be accompanied by an increase in road quality, so that roads are more reliable. Many factors affect road reliability, such as heavier truck loads requiring trucks with more axles and the v/c ratio of roads which affect the ability of asphalt pavements to accept loads. In traffic congestions, the strain that occurs in asphalt pavement structures can increase up to 370 millimicrons, or about 3 times greater than the strain that occurs in normal conditions. Meanwhile, to increase the independence of road construction in Indonesia, the use of domestic products in the form of Buton natural asphalt (Asbuton) needs to be continuously developed. In its use, Asbuton with a maximum content of 5.5% in the mixture has produced an asphalt mixture that meets existing specifications. The availability of Asbuton in Indonesia, which reaches around 600 thousand tons, must be utilized as best as possible. The use of concrete waste can be carried out, using a maximum asphalt content of 6.5%, with all aggregates being substituted with concrete waste. While the use of substitute materials in the form of plastic can only replace aggregates on asphalt pavements as much as 6.15%.

Keywords: road construction; road quality; pavement strain; buton natural asphalt

Abstrak

Tingginya pembangunan jalan di Indonesia harus disertai dengan peningkatan kualitas jalan, sehingga jalan lebih andal. Banyak faktor yang berpengaruh pada keandalan jalan, seperti muatan truk yang lebih berat memerlukan truk dengan gandar yang lebih banyak serta v/c *ratio* jalan yang memengaruhi kemampuan perkerasan beraspal jalan dalam menerima beban. Pada keadaan lalu lintas macet, regangan yang terjadi pada struktur perkerasan beraspal dapat meningkat sampai dengan 370 milimikron, atau sekitar 3 kali lipat lebih besar daripada regangan yang terjadi pada keadaan normal. Sementara itu, untuk meningkatkan kemandirian pembangunan jalan di Indonesia, pemakaian produk dalam negeri berupa aspal alam Buton (Asbuton) perlu terus dikembangkan. Dalam penggunaannya, Asbuton dengan kadar maksimum 5,5% dalam campuran telah menghasilkan campuran beraspal yang memenuhi spesifikasi yang ada. Ketersediaan Asbuton di Indonesia, yang mencapai sekitar 600 ribu ton, harus dimanfaatkan sebaik mungkin. Penggunaan limbah beton dapat dilakukan, dengan menggunakan kadar aspal maksimum sebesar 6,5%, dengan semua agregat dapat disubstitusi dengan limbah beton. Sementara penggunaan material substitusi berupa plastik hanya dapat menggantikan agregat pada perkerasan beraspal sebanyak 6,15%.

Kata-kata kunci: pembangunan jalan; kualitas jalan; regangan pada perkerasan; aspal alam buton

PENDAHULUAN

Jalan merupakan salah satu elemen penting untuk menggerakkan ekonomi suatu kawasan. Seiring berjalannya waktu, panjang jalan di Indonesia terus bertambah dan dibangun untuk menopang kebutuhan masyarakat. Menurut Keputusan Menteri Pekerjaan Umum

Nomor 236A/KPTS/1997, Tentang Penetapan Ruas-Ruas Jalan Menurut Statusnya Sebagai Jalan Nasional, total panjang jalan nasional di Indonesia adalah 26.853,48 km. Sementara itu, berdasarkan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 430/KPTS/M/2022, Tentang Penetapan Ruas Jalan Dalam Jaringan Jalan Primer Menurut Fungsinya Sebagai Jalan Arteri Primer (JAP) dan Jalan Kolektor Primer-1 (JKP-1), total panjang jalan nasional di Indonesia adalah 47.763,2 km.

Berdasarkan data tersebut, panjang jalan nasional di Indonesia dalam 25 Tahun terbangun sepanjang 20.909,72 km atau rata-rata sepanjang 836,38 km setiap tahunnya. Pada pembangunan jalan tersebut terdapat pula rintangan, seperti sungai, lereng, atau penampang basah lainnya, sehingga dibutuhkan pembangunan jembatan sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari pembangunan jalan.

Untuk mendukung Infrastruktur Jalan yang Andal, Mandiri, dan Berkelanjutan dibutuhkan penggunaan material yang dapat mendukung hal tersebut. Pada makalah ini dijelaskan beberapa faktor yang dapat meningkatkan keandalan jalan serta menunjukkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, sebagai upaya penggunaan material alternatif untuk mendukung pembangunan jalan yang lebih ramah lingkungan dan mengandalkan material dalam negeri.

Beberapa pertanyaan yang coba dijawab pada tulisan ini adalah: (1) faktor apa saja yang memengaruhi keandalan jalan dengan perkerasan lentur beraspal?, (2) apakah pembangunan jalan dengan perkerasan lentur dapat menggunakan bahan ramah lingkungan sebagai upaya menjaga keberlanjutan?, dan (3) bagaimana penggunaan bahan lokal sebagai upaya kemandirian pembangunan jalan? Tujuan tulisan ini adalah: (1) menentukan faktor yang memengaruhi keandalan jalan dengan perkerasan lentur beraspal, (2) memberikan solusi material yang ramah lingkungan sebagai penyusun perkerasan untuk menjadikannya berkelanjutan; dan (3) menerapkan penggunaan produk aspal lokal sebagai upaya kemandirian pembangunan jalan.

Kerusakan Jalan Beraspal

Karakteristik kelelahan perkerasan beraspal sangat berhubungan dengan regangan tarik dasar lapisan campuran beraspal. Regangan tarik lapisan beraspal di bawah diukur di lokasi untuk memperkirakan umur kelelahan lapisan beraspal (Cao dan Huang, 2022):

$$N_{f1} = 6,32 \times 10^{15,96-0,29\beta} k_a k_b k_{aT1}^{-1} \left(\frac{1}{\varepsilon_a}\right)^{3,97} \left(\frac{1}{\varepsilon_a}\right)^{1,58} (\text{VFA})^{2,72} \quad (1)$$

$$k_b = \left[\frac{1+0,3E_a^{0,43} (\text{VFA})^{-0,85} e^{0,024h_a-5,41}}{1+e^{0,024h_a-5,41}} \right]^{3,33} \quad (2)$$

dengan:

N_{f1} adalah umur retak leleh lapisan campuran beraspal;

k_a adalah koefisien penyesuaian musiman;

k_b adalah koefisien mode pembebanan kelelahan; dan

E_a adalah modulus kompresi dinamis campuran beraspal (MPa).

Penggunaan Material Ramah Lingkungan

Telah dilakukan beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penggunaan bahan-bahan untuk perkerasan lentur beraspal yang lebih ramah lingkungan. Beberapa hasil penelitian tersebut diuraikan di bagian ini.

Tabel 1 Pengujian Beton dengan Substitusi Limbah Beton

Gradasi	Variasi Limbah Beton	Benda Uji	Kehilangan Berat	Keterangan	
Tipe	%	No.	(%)	Memenuhi	Tidak Memenuhi
Ream	0/100	1	12,99	Memenuhi	Memenuhi
		2	16,21		
		3	19,85		
	Rata-rata		16,35		16,35
Ream	50/50	1	53,87	Tidak Memenuhi	
		2	46,12		
		3	47,82		
	Rata-rata		49,27		49,27
Ream	75/25	1	45,97	Tidak Memenuhi	
		2	41,91		
		3	42,49		
	Rata-rata		43,45		43,45
Ream	100/0	1	16,91	Memenuhi	
		2	20,08		
		3	20,43		
	Rata-rata		19,14		19,41

Sumber: Mardiana et al. (2021)

Mardiana et al. (2021) melakukan penelitian kinerja campuran beraspal berongga dengan menggunakan limbah beton sebagai substitusi agregat. Hasil pengujian kadar aspal optimum pada benda-benda uji yang dilakukan di laboratorium, dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%, menghasilkan nilai kadar aspal optimum 6,25%. Hasil pengujian permeabilitas pada benda uji dengan variasi limbah beton dan batu pecah yang mempunyai kemampuan aliran air yang paling baik, adalah pada variasi limbah beton dan batu pecah 50%/50% dan 75%/25%. Semakin kecil perbandingan variasi limbah beton dan batu pecah, semakin meningkat nilai koefisien permeabilitasnya. Hasil pengujian cantabro pada benda uji dengan variasi limbah beton dan batu pecah yang memenuhi spesifikasi Road Engineering Association of Malaysia (REAM, 2008) ada pada variasi limbah beton 0%/100% dan 100%/0%, dengan semakin kecil perbandingan variasi limbah beton, semakin besar nilai kehilangannya.

Wijayanti dan Radham (2021) meneliti pengaruh penambahan limbah plastik terhadap karakteristik campuran beraspal AC-W. Pada penelitian tersebut digunakan campuran beraspal AC-WC dan campuran beraspal dengan plastik LDPE, dengan menggunakan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Nilai kadar aspal optimum AC-WC yang didapat adalah sebesar 6,125% dan nilai kadar aspal optimum campuran beraspal AC-WC dengan plastik LDPE adalah 7,45%. Perbandingan hasil uji Marshall antara campuran beraspal AC-WC tanpa menggunakan plastik DPE dengan campuran beraspal AC-WC yang menggunakan plastik LDPE dapat dilihat pada Tabel 2. Terlihat

bahwa density, Flow, dan VFB campuran beraspal tanpa plastik lebih besar dibandingkan aspal dengan campuran campuran beraspal dengan plastik. Sedangkan nilai stabilitas, VIM, VMA, dan MQ campuran beraspal tanpa menggunakan plastik lebih kecil dibandingkan dengan campuran beraspal yang mengandung plastik.

Tabel 2 Perbandingan Nilai Karakteristik dari Agregat dengan Plastik LDPE

No.	Karakteristik	Tanpa Plastik 0%	Plastik LPDE
1	Density	2,165	2,161
2	VIM (%)	1567,023	1693,976
3	VMA (%)	3,94	3,792
4	VFB (%)	3,228	3,416
5	Stabilitas (kg)	16,441	16,618
6	Flow (mm)	83,297	82,15
7	MQ (kg/mm)	398,262	447,085

Sumber: Wijayanti dan Radham (2022)

Penggunaan Aspal Alam Lokal

Sebagai upaya meningkatkan penggunaan produk lokal aspal Buton (Asbuton), aspal tersebut telah dikembangkan dan diterapkan pada beberapa proyek pembangunan jalan dengan perkerasan lentur. Keunggulan asbuton dibandingkan dengan aspal Shell pada campuran beraspal (AC-BC) dilakukan oleh Sumiati et al. (2019). Hasil penelitian yang dilakukan pada Laston Asbuton Pracampuran dan Laston Aspal Pen 60/70 menunjukkan bahwa sifat fisik Asbuton memiliki titik leleh, titik nyala, serta titik bakar yang lebih tinggi dibandingkan dengan Aspal Pen 60/70. Laston Asbuton Pracampuran lebih ekonomis, karena memiliki nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang lebih rendah dibandingkan campuran beraspal Pen 60/70. Selain nilai KAO lebih rendah, Laston Asbuton Pracampuran mempunyai nilai stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, serta ketahanan rutting yang sama dengan campuran beraspal Pen 60/70, serta memenuhi kriteria yang terdapat pada Spesifikasi Teknis Campuran Beraspal dengan Asbuton.

Tumpu et al. (2019) mempelajari stabilitas campuran beraspal yang menggunakan Bitumen Hasil Ekstraksi Aspal Alam Buton (BHEAAB) sebagai bahan baku fase padat. Perbandingan stabilitas campuran yang menggunakan aspal emulsi yang berasal dari BHEAAB dengan stabilitas campuran yang menggunakan aspal minyak ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Perbandingan Stabilitas antara Asbuton dan Aspal Minyak

Kadar Aspal (%)	Stabilitas dengan Aspal Buton (kg)	Stabilitas dengan Aspal Minyak (kg)
4,5	216,14	417,89
5	551,77	604,02
5,5	908,9	395,49
6	477,6	512,71
6,5	333,59	372,24

Sumber: Tumpu et al. (2019)

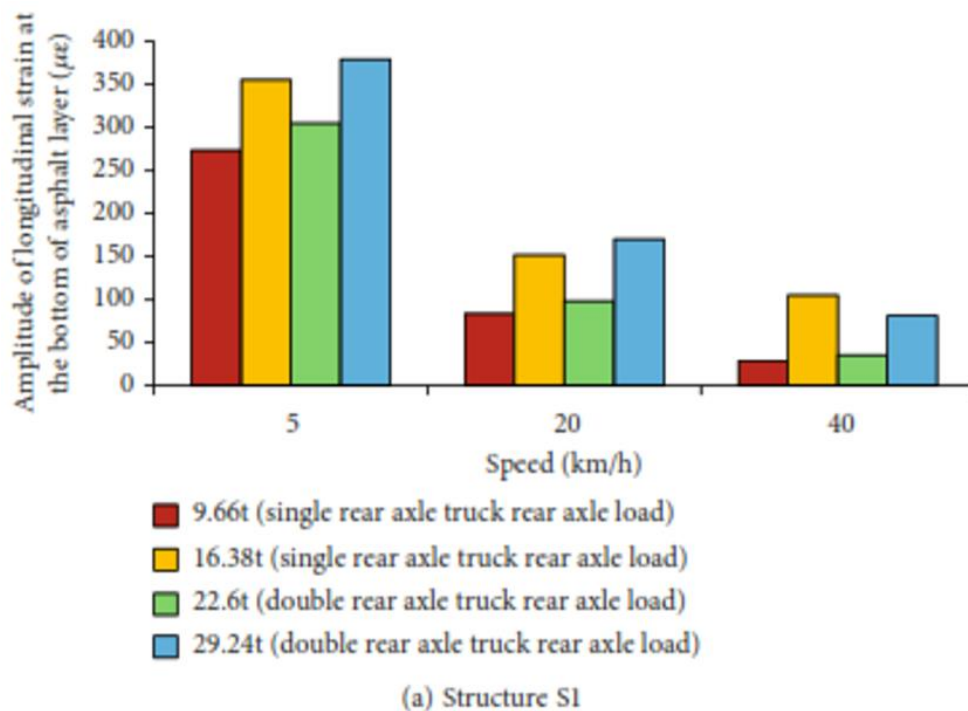
Hasil penelitian Tumpu et al. (2019) menunjukkan bahwa bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton dapat dibuat menjadi aspal emulsi. Selain itu, campuran beraspal emulsi

yang berbasis BHEAAB memiliki nilai stabilitas sebesar 908.9 kg pada kadar aspal optimum, yaitu 5,5%.

PEMBAHASAN

Faktor-Faktor Pengaruh Keandalan Pekerasan Lentur Beraspal

Untuk mendukung pembangunan jalan yang andal, dalam pelaksanaan betul-betul harus dipastikan aspal yang digunakan, terutama pada ketebalan lapisan beraspal. Menurut Cao dan Huang (2022), tebal lapisan beraspal sangat memengaruhi umur lelah (*fatigue*) struktur perkerasan tersebut. Selain itu, beban gandar yang direncanakan diterima oleh perkerasan beraspal dan kecepatan kendaraan juga merupakan faktor utama yang berpengaruh terhadap umur perkerasan.



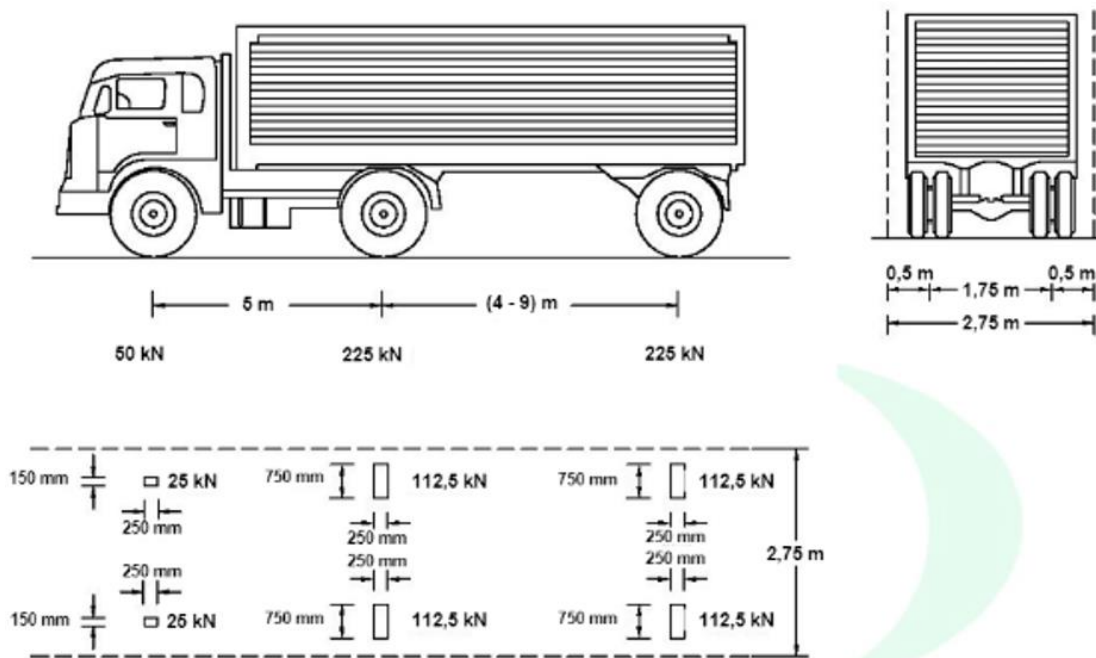
Sumber: Cao dan Huang (2022)

Gambar 1 Regangan pada Struktur Perkerasan dengan Beban Truk Ditambah Pengaruh Kecepatan

Beban gandar dan jenis gandar pada truk-truk yang diperhitungkan akan memengaruhi umur jalan. Truk yang besar berat harus diimbangi dengan struktur roda truk yang menggunakan *double rear*, karena pengaruh persebaran gaya yang diterima oleh struktur beraspal akan berbeda. Dapat dilihat pada Gambar 1, bahwa truk dengan berat 16,38 ton *single rear* dan truk dengan berat 29,24 ton *double rear* memiliki dampak yang tidak berbeda jauh terhadap regangan pada struktur perkerasan. Artinya perlu dilakukan pengawasan ketat

terhadap truk-truk bermuatan besar; yang diizinkan melewati jalan harus mempertimbangkan konfigurasi roda pada truk tersebut agar tidak terlalu membebani jalan.

Selanjutnya adalah kecepatan kendaraan; yang penting diperhatikan adalah v/c ratio suatu ruas jalan. Saat kendaraan berat melaju pelan 5 km/h dan saat keadaan normal kendaraan tersebut melaju dengan 40 km/h, perbedaan pengaruh regangan pada struktur perkerasan beraspal dapat mencapai 3 kali lipat lebih besar. Untuk mendukung struktur jalan yang andal, perlu dipertimbangkan untuk membangun jalan baru jika memang ruas jalan sudah sangat macet dengan truk-truk besar yang melewatinya.



Gambar 2 Pembebanan Truk "T" 500 kN

Meningkatkan ketebalan lapisan beraspal atau mengurangi beban gandar kendaraan dapat mengurangi nilai terukur dinamika internal indeks respons struktur perkerasan beraspal, dan sensitivitas amplitudo regangan longitudinal pada bagian bawah lapisan beraspal. Selain itu, untuk struktur jembatan sebagai bagian jaringan jalan, pertimbangan menaikkan ketebalan lapisan beraspal pada kondisi tertentu juga sangat bermanfaat, karena berdasarkan SNI 1725:2016 "Tentang Pembebanan pada Jembatan", truk yang dipakai sebagai beban adalah truk dengan berat 50 t, yang mana sangat berat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Untuk jenis pembebanan truk "T", Faktor Beban Dinamis (FBD) yang digunakan adalah sebesar 30%. Nilai FBD yang diperhitungkan selanjutnya digunakan di seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Selain itu, terdapat suatu faktor sebagai pembesaran beban pada struktur jembatan, yaitu perkerasan beraspal yang elatis dan menjaga regangan yang terjadi pada bagian bawah struktur beraspal, seperti yang telah dibahas sebelumnya, akan membantu struktur jembatan secara umum dalam menghadapi gaya kejut yang terjadi akibat roda kendaraan.

Penggunaan Material Ramah Lingkungan

Sebagai jawaban untuk keberlangsungan pembangunan jalan yang lebih ramah lingkungan, telah dilakukan beberapa penelitian oleh Sumiati et al. (2019), tentang penggunaan bahan substitusi dari limbah beton sebagai pengganti agregat. Beberapa struktur jembatan akan dilakukan penggantian, sehingga limbah dari pembongkaran beton struktur pada jembatan, misalnya pada elemen lantai, girder, pilar, atau abutmen, dapat digunakan sebagai bagian substitusi limbah beton pengganti agregat pada struktur jalan. Walaupun demikian, hasil pengujian parameter Marshall pada kadar aspal optimum menunjukkan adanya beberapa karakteristik yang tidak memenuhi spesifikasi yang digunakan. Sebagai contoh, hanya nilai VIM pada kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% yang memenuhi.

Tabel 4 Penentuan Nilai Tengah Kadar Aspal Optimum

Parameter Marshall	Persentase sesuai Spesifikasi						Spesifikasi
VIM							18-25%
VMA							Min. 16%
VFB							70-80%
STABILITAS							350-800 kg
FLOW							2-4 mm
MQ							Min. 200kg
	5	5,5	6	6,25	6,5	7	

Sumber: Mardiana et al. (2021)

Untuk VMA, semua kadar aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi, dan pada karakteristik VFB dan stabilitas, tidak ada satupun kadar aspal yang memenuhi spesifikasi. Untuk karakteristik flow, yang memenuhi spesifikasi hanya pada kadar aspal 5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Sedangkan untuk karakteristik MQ, semuanya telah memenuhi nilai dari spesifikasi yang digunakan untuk semua variasi kadar aspal. Hasil perhitungan nilai tengah diambil dari kadar aspal yang memenuhi semua parameter marshall. Dari hasil pengujian didapat kadar aspal yang memenuhi, yaitu kadar aspal 6% dan 6,5%, sehingga nilai kadar aspal optimum yang digunakan untuk campuran beraspal berongga pada penelitian ini adalah 6,25%. Memang kadar aspal maksimum cenderung tinggi, tetapi menjadi masukan yang baik dalam hal mendapatkan solusi penggunaan limbah sebagai bahan yang lebih bermanfaat.

Tabel 5 Hasil Pengujian Marshall dengan Campuran Plastik

No.	Jenis Pemeriksaan	Kadar Plastik						Spesifikasi
		0%	3%	6%	9%	12%	20%	
1	Density (g/cm ³)	2,165	2,163	2,159	2,153	2,149	2,074	-
2	Stability (kg)	1567,023	1574,682	1586,050	1718,714	1843,357	1798,723	Min. 800 kg
3	Flow (mm)	3,94	3,95	3,785	3,745	3,74	3,61	2-4 mm
4	Marshall Quotient (kg/mm)	398,262	399,623	419,182	459,288	492,886	498,2449	Min. 80 kg/mm
5	VMA (%)	16,441	16,518	16,664	16,898	17,040	19,80968	Min. 15%
6	VFB (%)	83,297	82,843	81,961	80,609	79,789	64,80441	Min. 65%
7	VIM (%)	3,228	3,317	3,487	3,757	3,922	7,414381	3-5%

Sumber: Wijayanti dan Radham (2022)

Suatu solusi lain merupakan hasil penelitian Wijayanti dan Radham (2021). Berikut adalah hasil perhitungan hubungan kadar aspal untuk campuran AC-Wearing Course (AC-

WC) terhadap sifat Marshall campuran yang menggunakan plastik dengan kadar optimum 6,125% dan variasi kadar plastik 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 20% terhadap berat aspal. Pada penelitian ini, pada kadar plastik 3% -12% parameter Marshall masih memenuhi spesifikasi. Tetapi pada kadar plastic 20%, nilai VIM dan nilai VFB tidak memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Penggunaan Aspal Buton

Pemanfaatan Aspal Buton, yang merupakan aspal alam lokal dengan stok mencapai 600 juta ton, merupakan solusi terhadap kebutuhan pembangunan jalan di Indonesia. Beberapa penelitian tentang penggunaan lebih lanjut Aspal Buton ini menunjukkan nilai stabilitas yang diperoleh belum memenuhi semua spesifikasi khusus campuran dingin dengan Asbuton dan Aspal Emulsi yang ditetapkan oleh Bina Marga tahun 2006, yaitu lebih besar dari 450 kg. Rata-rata kenaikan nilai stabilitas, hingga mencapai nilai optimum pada kadar aspal emulsi 5,5%, adalah 75,29% (lihat Tabel 6). Sedangkan rata-rata penurunan nilai stabilitas pada nilai optimum adalah 38,8%. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa kandungan aspal emulsi yang optimum berada pada kadar 5,5%. Untuk campuran dengan kandungan kadar aspal emulsi 4,5% dan 6,5% belum memenuhi spesifikasi.

Tabel 6 Hasil Pemeriksaan Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas Aspal Buton (kg)	Stabilitas Aspal Minyak (kg)
4,5	216,14	417,89
5	551,77	604,02
5,5	908,9	395,49
6	477,6	512,71
6,5	333,59	372,24

Sumber: Tumpu et al. (2019)

Tabel 7 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Emulsi Berbasis BHEAAB

Pemeriksaan	Hasil Uji	Satuan
Viskositas, Saybolt Furol 77°F (25°C), 5s	24	cm ² /dt
Pengendapan, 24-h,% a	0,7	% Berat
Tertahan Saringan no. 20,% a	0,02	% Asli
Kadar Residu, Penyulingan,% Residu,%	64,7	% Asli
Penetrasi Aspal, 77°F (25°C), 100g, 5s	83	0,1 mm
Daktilitas Aspal, 77°F (25°C), 5 cm/min, cm	44	cm
Kadar Aspal,%	97,7	% Berat
Jenis Muatan Partikel	Positif	Positif

Sumber: Tumpu et al. (2019)

Hasil pengujian karakteristik bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton yang ditampilkan pada Tabel 7 menunjukkan bahwa sebagian besar sifat fisik bitumen yang digunakan memenuhi spesifikasi Bina Marga untuk bitumen aspal emulsi yang disyaratkan. Upaya agar Asbuton dapat dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan jalan, pada dasarnya bitumen harus dimaksimalkan sedemikian rupa sehingga memiliki karakteristik yang mendekati aspal minyak atau aspal keras yang digunakan untuk perkerasan jalan. Penetrasi pada 25°C, 100 g, dan 5

detik sebesar 83 (dalam satuan 0,1 mm) ini menyerupai hasil yang diperoleh pada penelitian Alberta Research Council (1989).

KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa beberapa faktor yang dapat menunjang pembangunan jalan yang Jalan yang Andal, Mandiri, dan Berkelanjutan perlu memperhatikan 3 faktor yang telah dibahas pada tulisan ini. Pertama, keandalan pembangunan jalan dapat ditingkatkan dengan memperhatikan faktor teknis yang terkait penggunaan aspal, mulai dari ketebalan lapisan beraspal, pengawasan terhadap beban truk yang bekerja, dan korelasi tingkat pelayanan jalan terhadap kemetan dan kualitas aspal. Kemecetan pada jalan mengakibatkan penurunan kecepatan kendaraan, dan berimplikasi pada naiknya regangan pada perkerasan sekitar 3 kali lipat. Kecepatan 5 km/h menyebabkan regangan sebesar 370 milimikron, sementara kecepatan kendaraan pada kondisi kecepatan normal 40 km/h hanya menyebabkan regangan 100 milimikron. Selain itu, kendaraan dengan beban atau muatan berat harus memiliki *double rear*.

Kedua, untuk menunjang system berkelanjutan pada perkerasan beraspal telah dilakukan beberapa terobosan. Terobosan tersebut meliputi: (a) substitusi agregat dengan limbah beton, dengan kadar aspal maksimum 6,5%, yang merupakan tingkat yang ideal serta memenuhi kriteria teknis yang digunakan, dan (b) substitusi agregat dengan plastik, dengan penggunaan plaktik sebagai pengganti agregat optimum di angka 6,15%.

Ketiga, sebagai penunjang kemandirian bangsa, dalam melaksanakan proyek jalan yang dilakukan oleh Pemerintah, perlu digunakan aspal alam yang ada di Indonesia, yaitu Aspal Buton. Hasil studi yang ada menunjukkan bahwa kadar aspal emulsi yang optimum adalah 5,5%.

DAFTAR PUSTAKA

- Cao, M. dan Huang, W. 2022. *Influence of Axle Load and Asphalt Layer Thickness on Dynamic Response of Asphalt Pavement*. Sichuan Communication Surveying and Design Institute Co., Ltd., Chengdu.
- Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 1997. *Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 236A/KPTS/1997, Tentang Penetapan Ruas-Ruas Jalan Menurut Statusnya Sebagai Jalan Nasional*. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2020. *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. 2022. *Keputusan Menteri PUPR No. 430/KPTS/M/2022 Tentang Penetapan Ruas Jalan dalam*

Jaringan Jalan Primer Menurut Fungsinya sebagai Jalan Arteri Primer (JAP) dan Jalan Kolektor Primer-1 (JKP-1). Jakarta.

- Mardiana, Desi, N., dan Gusty, S. 2021. *Analisis Kinerja Campuran Aspal Berongga Substitusi Limbah Beton Pengganti Agregat Berdasarkan REAM.* Jurnal SIPILsains, 11 (2): 125–134.
- Sumiati, Mahmuda, dan Puryanto. 2019. *Keunggulan Asbuton Pracampuran dan Aspal Shell pada Campuran Aspal Beton (AC-BC).* Jurnal Poli-Teknologi, 18 (1): 53–64.
- Tumpu, M., Tjaronge, M.W., Djamaluddin A.R., Irmawaty, R., dan Mabui, D.S. 2019. *Stabilitas dan Flow Campuran Aspal Emulsi yang Menggunakan Bitumen Hasil Ekstraksi Aspal Alam Buton (BHEAAB) sebagai Bahan Baku Fasa Padat.* Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil 2019. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wijayanti, A. dan Radham, I.F. 2021. *Pengaruh Penambahan Limbah Plastik terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC.* Jurnal RIVET, 1 (2): 80–90.