

PENGUKURAN TINGKAT KESIAPAN TEKNOLOGI (TKT) PENERAPAN ASPAL KARET DI INDONESIA

Measuring the Technology Readiness Level (TRL) for the Application of Rubberized Asphalt in Indonesia

Henry PRASTANTO¹, Illah SAILAH², Ono SUPARNO², dan Madi HERMADI³

¹ Pusat Penelitian Karet, PT Riset Perkebunan Nusantara, Bogor, Jawa Barat

² Departemen Teknologi Industri Pertanian, IPB University

³ Balai Bahan Jalan - Kementerian PUPR dan Institut Teknologi Garut

*Email : hprastanto@gmail.com

Diterima: 17 November 2023 / Disetujui: 31 Maret 2024

Abstract

One of the efforts to increase domestic consumption of natural rubber in order to strengthen natural rubber price is the application of rubberized asphalt technology. Types of natural rubber that can be used for asphalt additives are concentrated latex and solid rubber-based. Study regarding the readiness of rubberized asphalt technology is urgently important. Since the result of the study can be used by the government in determining policies for the rubberized asphalt technology application in Indonesia. Referred on the literature review and interviews with researchers and practitioners from rubberized asphalt producers, used tools for measuring the Technology Readiness Level (TRL), it appeared that rubberized asphalt technology based on prevulcanized latex has reached TRL 9. As the result, rubberized asphalt based on prevulcanized latex is ready to be implemented in accordance with various considerations. Meanwhile, the application of rubberized asphalt based on solid natural rubber is on TRL 6. Therefore, efforts in conducting research and development on solid natural rubber based rubberized asphalt is strongly necessary. Several topics should be considered for further research and development are related to formulation and processing of solid natural rubber ie Standard Indonesian Rubber (SIR) 20 grade which is easily mixed into asphalt and produce high quality rubberized asphalt.

Keywords: *rubberized asphalt, prevulcanized latex, SIR 20, solid rubber, TRL*

Abstrak

Salah satu upaya untuk meningkatkan konsumsi domestik karet alam dalam rangka untuk mendongkrak harga karet alam adalah penerapan teknologi aspal karet. Jenis karet alam yang dapat digunakan untuk aditif aspal adalah lateks pekat dan karet padat. Kajian tentang kesiapan penerapan teknologi aspal karet sangatlah penting karena dapat digunakan oleh pemerintah dalam menentukan arah kebijakan penerapan aspal karet di Indonesia. Berdasarkan kajian literatur dan wawancara dengan para peneliti dan praktisi dari produsen aspal karet, dengan menggunakan perangkat pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) maka tampak bahwa kesiapan teknologi aspal karet berbasis lateks pravulkanisasi mencapai TKT 9 yang artinya telah siap untuk diterapkan berdasarkan atas berbagai pertimbangan. Sementara untuk penerapan teknologi aspal karet berbasis karet padat yang telah diolah menjadi vulkanisat karet alam masih pada TKT 6. Dengan demikian upaya untuk melaksanakan penelitian dan pengembangan teknologi aspal karet padat masih sangat dibutuhkan. Beberapa hal yang perlu dilakukan untuk penelitian lebih lanjut adalah terkait formulasi dan proses pengolahan karet alam padat *Standard Indonesian Rubber (SIR) 20* yang mudah dicampurkan dalam aspal dan menghasilkan mutu aspal karet yang terbaik.

Kata kunci: *aspal karet, lateks pravulkanisasi, SIR 20, karet padat, TKT*

PENDAHULUAN

Harga karet alam dalam 10 tahun terakhir berada pada posisi sangat rendah sehingga menimbulkan kegelisahan para petani karet. Proyeksi jangka panjang menunjukkan adanya peningkatan harga karet alam mencapai sebesar US\$1,5 per kg karet kering di tahun 2025, dan diproyeksikan akan terus meningkat di tahun 2027 menjadi US\$ 2,5 per kg karet kering (Syarifa *et al.*, 2023). Upaya perbaikan harga karet melalui penyerapan karet dalam negeri telah dilakukan oleh Pemerintah yang dipimpin oleh Presiden Jokowi pada tahun 2019 saat melakukan kunjungan kerja di Sumatera Selatan (Setyowati, 2019). Penerapan aspal karet alam di Indonesia sejak tahun 2016 hingga hingga 2020 sebagaimana pada Tabel 1. Berdasarkan hasil uji gelar yang dilaksanakan Pusat Penelitian Karet dan Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, Kementerian PUPR di Jalan Nasional Bogor Sukabumi tahun 2016, teknologi aspal karet memungkinkan penggunaan karet sebagai aditif aspal untuk meningkatkan kualitas aspal. Aspal karet memiliki kelebihan bila dibandingkan aspal konvensional diantaranya karena memiliki sifat kelengketan, elastisitas, titik lembek, ketahanan *rutting* dan ketahanan retak yang lebih baik. Kelebihan ini membuat jalan aspal karet akan menjadi lebih awet.

Banyak pihak saat ini mempertanyakan tentang bagaimana sebenarnya kesiapan penerapan teknologi aspal karet di Indonesia. Kebijakan penerapan aspal karet tanpa dilakukan analisis terhadap kesiapannya tentu akan menyisakan masalah bagi pemerintah karena kebijakan tidak akan dapat berjalan. Penerapan aspal karet dari lateks pravulkanisasi telah berjalan sejak 2018. Secara umum sudah berjalan baik hanya saja terdapat hal yang menjadi pemikiran dan pertanyaan banyak pihak terkait pasokan lateks pekat mengingat saat ini posisi Indonesia juga masih impor lateks pekat. Estimasi impor lateks pekat pada tahun 2022 adalah 24.850 ton sementara ekspor lateks pekat hanya 2.252 ton (Dekarindo, 2022). Penerapan teknologi aspal karet padat juga saat ini banyak pihak masih mempertanyakan kesiapan teknologi serta kesiapan industri pembuatan aspal

karet, mengingat mayoritas produk karet di Indonesia adalah berupa karet mentah padat berupa *Standard Indonesian Rubber* (SIR) 20.

Ekspor karet alam Indonesia pada tahun 2022 mayoritas berupa SIR 20 yaitu 98% dari total ekspor karet alam (Dekarindo, 2022). Oleh karena itu pengembangan teknologi aspal karet padat berbasis SIR 20 penting untuk dilakukan. Penggunaan karet SIR 20 tanpa vulkanisasi sudah ditinggalkan karena tidak tahan terhadap panas selama proses pencampuran dengan aspal. Aspal karet padat telah diujicobakan pada tahun 2017 di jalan Parung-Depok Jawa barat sepanjang 500 m. Pada jalan ini jenis karet padat yang digunakan adalah SIR 20 yang sudah diproses menjadi kompon/*masterbatch* (Ramadhan *et al.*, 2020). Pada tahun 2020, penelitian tentang penggunaan aspal karet alam padat terus dilakukan dikarenakan penerapan aspal karet padat masih mengalami kendala dalam proses produksi dan kesiapan industrinya. Kendala dalam proses pencampuran karet padat dalam aspal disebabkan karena karet padat bersifat lengket sehingga sulit terdispersi dan membentuk campuran yang homogen dengan aspal, sehingga perlu dilakukan upaya penyelesaian misalnya dengan menggunakan serbuk vulkanisat.

Makalah ini dibuat untuk menjelaskan kesiapan penerapan teknologi aspal karet, baik itu berbasis lateks pravulkanisasi maupun vulkanisat karet padat yang diolah dari SIR 20. Informasi ini sangat berguna bagi pemerintah selaku pemangku kebijakan dalam membuat kebijakan penerapan aspal karet. Bagi peneliti atau ilmuwan dan perckayasa dapat memberikan informasi tentang celah penelitian untuk melakukan perbaikan teknologi serta pelaku industri selaku pihak yang mengkomersialisasikannya dapat memberikan gambaran sebelum melakukan investasi. Dengan adanya kebijakan yang tepat dalam penerapan teknologi aspal karet harapannya dapat memberikan dampak bagi keberlangsungan implementasi teknologi aspal karet sehingga berdampak perbaikan kualitas jalan dan perbaikan harga karet.

Tabel 1. Penerapan teknologi aspal karet di Indonesia (Ramadhan et al., 2020)
 Table 1. Application of rubber asphalt technology in Indonesia

Tipe Karet Alam	Lokasi (Ruas Jalan)	Panjang (m)	Bobot Karet (Ton)	Tahun
Lateks pravulkanisasi	Bogor – Sukabumi	2.500	12	2016
Lateks pravulkanisasi	Kantor Pusjatan Bandung	250	0.7	2017
Lateks pravulkanisasi	Ciputat – Parung	75	0.5	2017
Masterbatch	Ciputat – Parung	500	2.6	2017
Lateks pravulkanisasi	Lintas Tengah Sumatera	4.370	12	2018
Lateks pravulkanisasi	Sumatera, Jawa, Kalimantan	65.000	177	2019
Lateks pravulkanisasi	Sumatera, Jawa, Kalimantan	48.000	175	2020

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan dengan metode *desk study* pada bulan April hingga Juni 2023. Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan wawancara kepada peneliti yang telah melakukan penelitian aspal karet di Pusat Penelitian Karet Unit Riset Bogor Getas, PT Riset Perkebunan Nusantara dan praktisi dari perusahaan yang selama ini memproduksi aspal karet serta petani karet yang memproduksi lateks pekat yang ada di Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung dan Kabupaten Banjar, Provinsi Jawa Barat. Data sekunder diperoleh dari pustaka ataupun kanal berita daring yang relevan.

Penilaian terhadap tingkat kesiapan penerapan teknologi dilakukan dengan metode pengukuran *Technology Readiness Level* (TRL) atau Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) terhadap teknologi aspal karet dari lateks pravulkanisasi dan aspal karet dari karet padat. Metode pengukuran TRL/TKT adalah salah satu metode untuk mengetahui tingkat kesiapan penerapan suatu teknologi (Elmatsani, 2017). Dalam makalah ini metode perhitungan TRL/TKT menggunakan sebuah perangkat lunak

lembar kerja berbasis *Microsoft Excel* atau dikenal TRL-Meter yang digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan program Riset Unggulan Kemitraan (RUK) Kementerian Ristekdikti (Elmatsani, 2017). TRL-Meter untuk penelitian ini termasuk dalam kategori *hard engineering*, diperoleh dengan `m e n g u n d u h d i l a m a n` <https://risprolpdp.kemenkeu.go.id> Penghitungan TKT umum dan *hard engineering.xls*. Hasil pengukuran TRL/TKT selanjutnya digunakan sebagai dasar penentuan tingkat kesiapan penerapan teknologi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

TKT adalah sistem pengukuran sistematis yang membantu menilai kematangan atau kesiapan suatu teknologi tertentu dan membandingkan kematangan atau kesiapan antara berbagai jenis teknologi. Kematangan teknologi dapat diartikan sebagai indikator seberapa matang atau siap suatu teknologi untuk diterapkan dan diadopsi oleh pengguna/calon pengguna. Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) terdiri dari 9 Level (Graerringer et al., 2002). Penjelasan terhadap perbedaan setiap level disajikan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)
 Table 2. *Technology Readiness Level* (TRL)

TKT		Penjelasan
9	Sistem benar-benar teruji/ terbukti melalui keberhasilan pengoperasian	Aplikasi (penerapan) teknologi secara nyata dalam bentuk akhirnya dan di bawah kondisi yang dimaksudkan (direncanakan) sebagaimana dalam pengujian dan evaluasi operasional. Pada umumnya, ini merupakan bagian/aspek terakhir dari upaya perbaikan/penyesuaian (<i>bug fixing</i>) dalam pengembangan sistem yang sebenarnya. Contoh-contohnya termasuk misalnya pemanfaatan sistem dalam kondisi misi operasional.
8	Sistem telah lengkap dan memenuhi syarat (<i>qualified</i>) melalui pengujian dan demonstrasi dalam lingkungan/ aplikasi sebenarnya	Teknologi telah terbukti bekerja/berfungsi dalam bentuk akhirnya dan dalam kondisi sebagaimana yang diharapkan. Pada umumnya, TKT ini mencerminkan akhir dari pengembangan sistem yang sebenarnya. Contohnya termasuk uji pengembangan dan evaluasi dari sistem dalam sistem persenjataan sebagaimana dirancang dalam rangka memastikan pemenuhan persyaratan spesifikasi desainnya.
7	Demonstrasi prototipe sistem dalam lingkungan/ aplikasi sebenarnya	Prototipe mendekati atau sejalan dengan rencana sistem operasionalnya. Keadaan ini mencerminkan langkah perkembangan dari TKT/TKT 6, membutuhkan demonstrasi dari prototipe sistem nyata dalam suatu lingkungan operasional, seperti misalnya dalam suatu pesawat terbang, kendaraan atau ruang angkasa. Contoh-contohnya pengujian prototipe dalam pesawat uji coba (<i>test bed aircraft</i>).
6	Demonstrasi model atau prototipe sistem/subsistem dalam suatu lingkungan yang relevan	Riset/penelitian dan pengembangan secara aktif dimulai. Hal ini dapat menyangkut studi analitis dan studi laboratorium untuk memvalidasi secara fisik atas prediksi analitis tentang elemen-elemen terpisah dari teknologi. Contoh-contohnya misalnya komponen-komponen yang belum terintegrasi ataupun mewakili.
5	Validasi kode, komponen dan/atau <i>breadboard validation</i> dalam suatu lingkungan simulasi	Keandalan teknologi yang telah terintegrasi (<i>breadboard technology</i>) meningkat secara signifikan. Komponen-komponen teknologi yang mendasar diintegrasikan dengan elemen-elemen pendukung yang cukup realistis sehingga teknologi yang bersangkutan dapat diuji dalam suatu lingkungan tiruan/simulasi. Contoh-contohnya integrasi komponen di laboratorium yang telah memiliki keandalan tinggi (<i>high fidelity</i>).
4	Validasi kode, komponen dan/atau <i>breadboard validation</i> dalam lingkungan laboratorium	Komponen-komponen teknologi yang mendasar diintegrasikan untuk memastikan agar bagian-bagian tersebut secara bersama dapat bekerja/berfungsi. Keadaan ini masih memiliki keandalan yang relatif rendah dibanding dengan sistem akhirnya. Contoh-contohnya misalnya integrasi piranti/perangkat keras tertentu (sifatnya <i>ad hoc</i>) di laboratorium.
3	Pembuktian konsep (<i>proof-of-concept</i>) fungsi dan/atau karakteristik penting secara analitis dan eksperimental	Riset/penelitian dan pengembangan secara aktif dimulai. Hal ini dapat menyangkut studi analitis dan studi laboratorium untuk memvalidasi secara fisik atas prediksi analitis tentang elemen-elemen terpisah dari teknologi. Contoh-contohnya komponen-komponen yang belum terintegrasi ataupun mewakili.

2	Formulasi konsep dan/atau aplikasi teknologi	Invensi dimulai. Saat prinsip-prinsip dasar diamati, maka aplikasi praktisnya dapat digali/dikembangkan. Aplikasinya masih bersifat spekulatif dan tidak ada bukti ataupun analisis yang rinci yang mendukung asumsi yang digunakan. Contoh-contohnya masih terbatas pada studi makalah.
1	Prinsip dasar dari teknologi diteliti dan dilaporkan	Tingkat terendah dari kesiapan teknologi. Riset ilmiah dimulai untuk diterjemahkan kedalam riset terapan dan pengembangan. Contoh-contohnya misalnya berupa studi makalah menyangkut sifat-sifat dasar suatu teknologi (<i>technology's basic properties</i>).

Sumber : (Graerringer *et al.*, 2002)

Kesiapan penerapan aspal karet tidak bisa terlepas dari pertimbangan teknis, regulasi pemerintah dan aspek ekonomi. Secara teknis peningkatan kualitas aspal dengan penambahan karet tercermin dan diatur dalam standar aspal karet Pd 08-2019-B yang telah diterbitkan oleh

Ditjen Binamarga(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2019) sebagaimana disajikan dalam Tabel 3. Standar aspal lateks ini diterbitkan setelah setelah uji coba penerapan aspal lateks skala komersial tahun 2018.

Tabel 3. Spesifikasi aspal karet dari lateks pravulkanisasi (Pd 08-2019-B)
 Table 3. Specifications for rubber asphalt from prevulcanized latex

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal dimodifikasi karet alam
1	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 06-2456-1991	Min 50
2	Viskositas pada 135°C (cSt)	ASTM D 2170-10	≤ 2000
3	Titik lembek (°C)	SNI 2434-2011	≥ 52
4	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432-2011	≥ 100
5	Titik Nyala (°C)	SNI 2433-2011	≥ 232
6	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	SNI 2438-2015	≥ 99
7	Berat Jenis	SNI 2441-2011	≥ 1,0
8	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D5976 part 6.1	≥ 2,2
Pengujian Residu Hasil Pengujian TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)			
9	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2440-1991 atau SNI 03-6835-2002	≤ 0,8
10	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54
11	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 8266-2016	≥ 100
12	Keelastisan setelah pengembalian (%)	SNI 8266-2016	≥ 30

Salah satu kelebihan aspal lateks adalah bahwa aspal lateks memiliki nilai *elastic recovery* yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan aspal karet yang dibuat dari karet padat. Sifat *elastic recovery* minimal 30% dari berbagai penelitian sulit dicapai meskipun dalam beberapa kasus dapat dipenuhi. Formulasi dan proses produksi aspal karet dari karet padat masih sangat terbuka untuk dikembangkan agar aspal karet dari karet

padat dapat memiliki *elastic recovery* yang lebih baik. Untuk mengakomodir pencrapan aspal karet padat maka diterbitkan standar aspal karet untuk aspal karet padat berbasis spesifikasi *Performance Grade* (PG) dalam Spesifikasi Khusus Interim Aspal Karet Alam Padat SKh-2.M.04 tahun 2022 sebagaimana disajikan dalam Tabel 4 (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2022).

Tabel 4. Spesifikasi aspal karet dari vulkanisat karet padat (SKh-2.M.04)
Table 4. Specifications for rubber asphalt from solid rubber vulcanisate

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe II Aspal Modifikasi	
			Aspal Karet Alam Padat (AKAP)	
			PG 70	PG 76
	Original Binder			
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	Dilaporkan ¹⁾	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	70	76
3	Viskositas pada 135 oC dengan alat: • Rotational viscometer (Pa.s), atau • Saybolt furol viscometer (cSt)	SNI 06-6441-2000 Atau SNI 7729:2011	$\leq 3,0$ Atau ≤ 3.000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	Dilaporkan ²⁾	
5	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 230	
6	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	SNI 2438:2015	≥ 99	
7	Berat Jenis	SNI 2441:2011	Dilaporkan	
8	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 7173-20 dan SNI 2434:2011	$\leq 2,2$	
	Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002) :			
9	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 1	
10	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	70	76
	Residu aspal segar setelah PAV (SNI ASTM D 6521:2012) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa			

11	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik \leq 5000 kPa, ($^{\circ}\text{C}$) ³⁾	SNI 06-6442-2000	31	34
<p>1) Diperlukan untuk pengendalian mutu di lapangan dengan ketentuan nilai penetrasi hasil uji di lapangan tidak boleh berbeda lebih dari 5 (0,1 mm) dari hasil uji yang dilaporkan.</p> <p>2) Diperlukan untuk pengendalian mutu di lapangan dengan ketentuan titik lembek diterima kalau paling sedikit memiliki nilai -1 dari nilai titik lembek yang dilaporkan.</p> <p>3) Bila geser dinamis <i>fatigue factor</i> ($G^*\sin\delta$) lebih kecil dari 5.000 kPa, maka δ tidak harus memenuhi ketentuan. Bila geser dinamis <i>fatigue factor</i> ($G^*\sin\delta$) 5.000 kPa sampai dengan 6.000 kPa, maka δ harus memenuhi ketentuan</p>				

Berdasarkan data yang diperoleh dari beberapa produsen aspal karet melalui wawancara diketahui bahwa secara umum harga aspal karet 17-40% lebih mahal daripada aspal konvensional dimana hal ini sangat tergantung dari utamanya dari harga karet dan jarak pabrik dengan lokasi pekerjaan.

Kesiapan Penerapan Aspal Lateks Pravulkanisasi

Penelitian tentang penggunaan lateks pravulkanisasi telah diinisiasi oleh para peneliti di Pusat Penelitian Karet, PT Riset Perkebunan Nusantara bekerja sama dengan para peneliti di Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan yang saat ini menjadi Balai Perkerasan Jalan dan Lingkungan, Direktorat Bina Teknik Dan Jembatan, Direktorat Jenderal Binamarga, Kementerian PUPR. Hasil dari penelitian ini diketahui bahwa aspal karet dari lateks pekat pravulkanisasi memiliki kualitas yang lebih baik daripada lateks pekat biasa karena aspal karet yang dihasilkan memiliki *elastic recovery* dan stabilitas penyimpanan yang lebih baik. Fenomena ini disebabkan karena lateks pravulkanisasi secara struktur kimia telah menjadi lebih kompleks dan rapat karena akibat terbentuknya ikatan silang antar rantai molekul karet yang ter vulkanisasi – (Prastanto et al., 2018a). Lebih lanjut berdasarkan penelitian Irfan et al (2021) diketahui bahwa penambahan Lateks Pravulkanisasi yang hasil penelitian Pusat Penelitian Karet dengan dosis 3%, 5% dan 7% (berdasarkan

berat aspal) dapat menurunkan nilai penetrasi, meningkatkan viskositas dan titik leleh serta meningkatkan pemulihan elastisitas sebesar 55%, 57% dan 60%.

Teknologi aspal lateks pravulkanisasi dengan dosis 5-7% telah diuji gelar pada tahun 2016 di jalan utama Bogor-Sukabumi, tepatnya di Kecamatan Cigombong Kabupaten Bogor (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016). Pengembangan penelitian ini kemudian dilanjutkan oleh Pusat Penelitian Karet didanai oleh Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian RistekDikti pada tahun 2018 dan 2019. Pada tahun 2018 implementasi perdana aspal karet berbasis lateks pravulkanisasi dengan dosis telah dilakukan di Terminal Aspal Curah (TAC) PT Sarana Lampung Utama di Bandar Lampung untuk pengaspalan di Jalan Lintas Tengah Sumatera tepatnya di Kabupaten Empat Lawang, Sumatra Selatan, sepanjang 4,3 km (Jawapos.com, 2018).

Berdasarkan survei yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Karet tahun 2017 tampak bahwa produksi lateks pekat masih jauh di bawah kapasitas terpasang sebagaimana disajikan dalam Tabel 5. Sebuah ironi ketika Indonesia harus melakukan impor lateks pekat sementara terdapat beberapa pabrik lateks pekat yang kemudian harus tutup atau menurunkan produksi karena lateks pekat yang dihasilkan tidak terserap pasar. Berdasarkan informasi dari beberapa pabrik

pengguna lateks pekat diketahui bahwa selain karena tuntutan kualitas terdapat juga faktor kemudahan dan rendahnya biaya transportasi dari Thailand dan Vietnam karena melalui laut.

Penerapan aspal karet dari lateks pravulkanisasi ini juga dapat memberikan peluang bagi pendapatan petani, karena harga lateks pekat tergolong paling tinggi

dibandingkan dengan harga jenis karet lainnya. Berdasarkan survei yang dilakukan kepada petani pembuat lateks pekat di Kabupaten Way Kanan, Lampung dan Kabupaten Garut, Jawa Barat sebagaimana Tabel 6 diketahui bahwa para petani binaannya dapat memproduksi lateks kebun untuk diolah menjadi lateks pekat meskipun dengan usaha yang tidak mudah dan konsisten.

Tabel 5. Produsen lateks pekat
Tabel 5. Concentrated latex manufacturers

No	Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas Basah (ton)	Produksi Tahun 2016 (ton)	Prosentase
1	PTPN IX	Kendal	4.500	906,7	20,1%
2	PTPN VIII	Subang	3.000	201,9	6,7%
3	PT Bumi Rambang	Palembang	5.440	2369,1	43,5%
4	PT Huma Indah Mekar	Lampung	5.640	2481,0	44,0%
5	PTPN III	Medan	30.000	3994,9	13,3%
	Jumlah/rata-rata		48.580	9953,6	20,5%

(Sumber: Pusat Penelitian Karet, 2017)

Tabel 6 Petani pengolahan lateks pekat
Tabel 6. Concentrated latex processing farmers

No	Lokasi	Jumlah Petani	Produksi (ton)
1	Way Kanan Lampung	30	100
2	Banjar Jawa Barat	15	60

Proses produksi lateks pravulkanisasi saat ini sudah berjalan dengan baik tanpa ada kendala yang berarti. Proses pravulkanisasi adalah proses pembentukan ikatan silang antara lateks pekat dengan sulfur disertai dengan pemanasan – (Prastanto et al., 2018a). Produsen lateks pravulkanisasi yang saat ini ada adalah Pusat Penelitian Karet sebagai unit kerja PT Riset Perkebunan Nusantara yang berlokasi di Bogor dengan kapasitas 2,4 ton per hari. Selain itu PT Riset Perkebunan Nusantara juga telah bekerja sama dengan Pemerintah Daerah (Pemda) Kabupaten Musi Banyuasin dalam memproduksi Lateks Pravulkanisasi di Kota Sekayu dengan kapasitas 5 ton per hari. Pola kerja sama ini masih dalam proses transfer teknologi karena rencananya akan

dijalankan oleh anak perusahaan BUMD yang dimiliki oleh Pemda Kabupaten Musi Banyuasin. Sebagai ilustrasi berdasarkan hasil ujicoba yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Karet dan Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, (Pusjatan) kebutuhan lateks pravulkanisasi untuk 1 km jalan dengan lebar 7 m dan tebal *hotmix* 4 cm adalah sekitar 3 ton.

Standar mutu lateks pravulkanisasi untuk aditif aspal karet telah diterbitkan oleh Ditjen Binamarga sebagai cara untuk menjaga konsistensi mutu aspal karet yang dihasilkan. Standar mutu lateks pravulkanisasi disajikan dalam Tabel 7 (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2019).

Tabel 7. Spesifikasi mutu lateks pravulkanisasi untuk aditif aspal (Pd 08-2019-B)
 Tabel 7. Specification for the quality of prevulcanized latex for asphalt additives

No	Analisa	Metoda Pengujian	Lateks Pravulkanisasi
1	Kadar jumlah padatan (KJP). (%)	ASTM D 1076-10	Min 53
2	Waktu kemantapan mekanik (detik)		Min 700
3	pH		8-12
4	Bilangan khloroform	LP-PPK	4
5	Ekstrak aseton (% terhadap padatan)	ASTM D 289-93 (2006)	Maks. 10
6	Kadar polimer (% terhadap padatan)	LP-PPK	Min. 87

Kesiapan industri pengolahan aspal karet dari lateks pravulkanisasi adalah faktor penting dalam implementasi aspal karet. Berdasarkan data yang diperoleh dari Pusat Penelitian Karet, PT Riset Perkebunan Nusantara diketahui beberapa perusahaan yang telah menggunakan lateks pravulkanisasi hasil produksi Pusat Penelitian Karet beserta kapasitas produksi aspal lateks sebagaimana disajikan dalam Tabel 8. Pembuatan *hotmix*, penghamparan

dan pemadatan jalan aspal karet jika dibandingkan dengan aspal konvensional atau aspal pen 60/70 tidak ada perbedaan yang berarti. Karena aspal karet memiliki titik lembek dan viskositas yang lebih tinggi maka pencampuran sampai pemadatan jalan perlu suhu 10°C lebih tinggi daripada aspal konvensional. Dengan sosialisasi dan pengawasan maka kontraktor jalan aspal hotmix akan dapat mengerjakan pembuatan jalan aspal karet ini.

Tabel 8. Produsen aspal lateks
 Tabel 8. Latex asphalt manufacturers

No	Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas Tangki Blending
1	PT Jaya Trade	Medan	30 ton
2	PT Saran Jambi Utama	Jambi	15 ton
3	PT Sarana Lampung Utama	Bandar Lampung	60 ton
4	PT Jaya Trade	Cirebon	45 ton
5	PT Bintang Djaja	Cilacap	30 ton
6	PT Aspindo Mutual	Surabaya	15 ton

Penambahan lateks dalam aspal dapat meningkatkan harga aspal karet dibandingkan dengan harga aspal konvensional. Berdasarkan informasi dari salah satu pabrik aspal lateks tahun 2023 diketahui bahwa kenaikan harga aspal karet adalah sekitar 17% dibandingkan aspal konvensional dan hal sangat dipengaruhi dengan harga aspal dan harga lateks pekat yang berfluktuasi.

dari lateks pravulkanisasi apabila dihitung dengan metode perhitungan TRL/TKT maka diperoleh tingkat kesiapannya pada level 9 sebagaimana disajikan dalam Tabel 9. Artinya teknologi ini sudah benar-benar teruji dan siap untuk diimplementasikan pada skala yang sebenarnya. Untuk menjawab segala keraguan dan pertanyaan terkait kesiapan pasokan bahan baku lateks pekat, sebenarnya masih dapat diatasi karena jika ada permintaan maka industri lateks pekat akan tumbuh dengan sendirinya.

Berdasarkan data-data di atas maka kesiapan penerapan teknologi aspal karet

Tabel 9. Hasil pengukuran TKT aspal karet dari lateks pravulkanisasi
 Table 9. TRL measurement results for rubber asphalt from prevulcanized latex

Σ atau % terpenuhinya ▶ Indikator TKT 9						T K T 9		
[beri tanda cross (X) pada kolom yang sesuai]								
No	0	1	2	3	4		5	(0=tidak terpenuhi; 1=20%; 2=40%; 3=60%; 4=80%; 5=100% atau terpenuhi)
1							x	Konsep operasional telah benar-benar dapat diterapkan
2							x	Perkiraan investasi teknologi sudah dibuat
3							x	Tidak ada perubahan desain yg signifikan.
4							x	Teknologi telah teruji pada kondisi sebenarnya
5							x	Produktivitas pada tingkat stabil
6							x	Semua dokumentasi telah lengkap
7							x	Estimasi harga produksi dibandingkan kompetitor
8						x	Teknologi kompetitor diketahui	
Σ	0	0	0	0	0	8		
Σ	100,0%							
Indikator TKT 9 =						TERPENUHI		

Kesiapan Penerapan Aspal Karet Padat

Penelitian tentang aspal karet dengan menggunakan karet alam mentah masih sangat terbatas dan mayoritas berasal dari negara penghasil karet alam seperti Indonesia, Malaysia dan Thailand. Hal ini lebih disebabkan karena sumber bahan baku karet mentah lebih banyak berasal dari negara penghasil karet alam. Beberapa bahan baku karet alam yang telah diteliti untuk pembuatan aspal karet diantaranya adalah menggunakan *cup lump* (Azahar et al., 2019), SIR 20 (Prastanto et al., 2015), lateks (Prastanto et al., 2018a), dan *ribbed smoked sheet* (RSS) (Vichitcholchai et al., 2012). Mayoritas penelitian menggunakan lateks karet alam karena lateks berupa cairan sehingga relatif lebih mudah dicampurkan ke dalam aspal. (Hazoor et al., 2021)

Publikasi tentang penggunaan vulkanisat untuk aditif aspal sampai dengan saat ini masih sangat terbatas. Penggunaan karet alam padat untuk aditif aspal masih berupa karet mentah tanpa dilakukan vulkanisasi terlebih dahulu misalnya berupa *cup lump* (Azahar et al., 2019), *Ribbed Smoked Sheet* atau RSS (Vichitcholchai et al., 2012) dan SIR 20 yang telah didopolimerisasi (Prastanto et al., 2015). Penelitian penggunaan kompon karet padat dari SIR 20 untuk aditif aspal juga telah dilakukan oleh para peneliti di Pusat Penelitian Karet, PT Riset Perkebunan

Nusantara bekerja sama dengan para peneliti di Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan yang saat ini menjadi Balai Perkerasan Jalan dan Lingkungan, Direktorat Bina Teknik Dan Jembatan, Direktorat Jenderal Binamarga, Kementerian PUPR. Penelitian tersebut mengujicobakan penambahan bahan pengikat silang ke dalam kompon dengan tujuan agar kompon dapat tervulkanisasi saat terkena panas selama pencampuran karet dengan aspal. Penelitian ini didanai oleh Direktorat Jenderal Industri Agro, Kementerian Perindustrian. Menurut hasil karakterisasi sifat fisik aspal karet diperoleh bahwa kompon karet SIR 20 dengan dosis 5-7% dapat membentuk aspal karet dengan kualitas terbaik ditunjukkan oleh penurunan penetrasi yang diikuti dengan peningkatan nilai titik lembek, indeks penetrasi dan *elastic recovery* serta sifat kestabilan aspal karet selama penyimpanan dan akibat pengaruh pemanasan berulang yang relatif baik (Prastanto et al., 2018b). Uji gelar terhadap hasil penelitian ini telah dilakukan pada tahun 2017 di jalan Parung-Depok (Sawangan) sepanjang 500 m (Jawapos.com, 2017)

Industri aspal modifikasi polimer lokal sudah relatif berkembang di Indonesia. Produsen aspal modifikasi polimer yang menggunakan *Styrene Butadiene Styrene* (SBS) secara disain proses dan permesinan dapat membuat aspal karet dari serbuk vulkanisat karet alam namun harus

dilakukan modifikasi. Salah satu produsen aspal polimer SBS yang telah melakukan modifikasi proses dan permesinan untuk produksi aspal karet dan sudah bisa membuat aspal karet adalah PT Bintang Djaja, Cilacap, Jawa Tengah. Dari beberapa kali uji coba produksi aspal karet dengan serbuk vulkanisat, secara teknis PT Bintang Djaja sudah berhasil memproduksi aspal karet dari serbuk vulkanisat yang diolah dari kompon karet padat.

Masalah utama penerapan aspal karet padat saat ini adalah terkait optimasi formula kompon karet dan proses produksi serbuk vulkanisat agar dapat menghasilkan aspal karet dengan kualitas yang terbaik. Proses produksi serbuk vulkanisat sudah dapat dilakukan namun data terkait mutu vulkanisat dan sifat aspal karet yang dihasilkan masih sangat terbatas. Industri barang jadi karet padat secara umum dapat membuat vulkanisat karet, namun tidak semua pabrik karet memiliki mesin *grinding*

Tabel 10. Spesifikasi mutu vulkanisat karet padat untuk aditif aspal (SKh-2.M.04)
 Tabel 10. Quality specification of solid rubber vulcanisate for asphalt additives

No.	Parameter Uji Vulkanisat	Metode	Persyaratan
1	<i>Hardness, shore A</i>	ASTM D 2240 -15	30-50
2	<i>Tensile strength, N/mm²</i>	ISO 37:2017	≥ 15
3	<i>Elongation at break, %</i>		≥ 450
Setelah Ageing 100°C 20 jam (ISO 188)			
4	Perubahan <i>Hardness, shore A</i>	ASTM D 2240 -15	±10 dari asli
5	<i>Tensile strength, N/mm²</i>	ISO 37:2017	≥ 2
6	<i>Elongation at break, %</i>		≥ 100

untuk membuat vulkanisat tersebut menjadi serbuk. Mutu vulkanisat karet untuk aditif aspal telah diterbitkan oleh Ditjen Binamarga dalam Spesifikasi Khusus Interim Aspal Karet Alam Padat SKh-2.M.04 tahun 2022 sebagaimana disajikan dalam Tabel 10 (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2022).

Spesifikasi mutu vulkanisat karet padat untuk aditif aspal yang sudah ada saat ini hanya bisa diterapkan untuk vulkanisat karet yang masih berupa lembaran, padahal vulkanisat karet alam padat untuk aditif aspal yang digunakan oleh pabrik aspal karet adalah berupa serbuk. Oleh karena itu masih perlu dilakukan penelitian dan pengembangan terkait parameter kunci selain parameter yang sudah ada dan metode pengujian vulkanisat karet alam yang sudah berupa serbuk.

Data terkait kualitas jalan aspal karet yang dibuat dari aspal karet padat masih belum ada karena uji coba penerapan jalan aspal karet padat dari serbuk vulkanisat karet alam pada jalan umum belum dilakukan. Satu satunya uji coba yang pernah dilakukan adalah jalan aspal

karet padat yang dibuat dari kompon/masterbatch karet alam (bukan serbuk vulkanisat). Oleh karena itu uji coba dan evaluasi kualitas dan keawetan jalan aspal dari karet padat masih perlu terus dilakukan.

Berdasarkan hasil uji coba awal yang telah dilakukan oleh PT Bintang Djaja diketahui bahwa pembuatan aspal karet alam dari serbuk vulkanisat dapat meningkatkan biaya karena penambahan serbuk vulkanisat. Secara ekonomis harga aspal karet ini mengalami kenaikan sekitar 38% dibandingkan dengan harga aspal konvensional, dan ini juga lebih mahal daripada aspal karet yang dibuat dari lateks pravulkanisasi. Oleh karena itu penelitian dan pengembangan untuk menekan biaya produksi masih sangat terbuka agar biaya produksi aspal karet dapat ditekan.

Berdasarkan data data di atas maka kesiapan penerapan teknologi aspal karet dari serbuk vulkanisat karet padat apabila dihitung dengan metode perhitungan TRL/TKT maka diperoleh tingkat kesiapannya pada level 6 dikarenakan belum memenuhi TRL 7 sebagaimana

Tabel 11. Hasil pengukuran TKT aspal karet dari karet padat
 Table 11. *TRL measurement results for Rubber Asphalt from Solid Rubber*

Σ atau % terpenuhinya ▶ Indikator TKT 7						T K T 7		
[beri tanda cross (X) pada kolom yang sesuai]								
No	0	1	2	3	4		5	(0=tidak terpenuhi; 1=20%; 2=40%; 3=60%; 4=80%; 5=100% atau terpenuhi)
1					X			Peralatan, proses, metode dan desain teknik telah diidentifikasi
2			X					Proses dan prosedur fabrikasi peralatan mulai diujicobakan
3				X				Perengkapan proses dan peralatan test / inspeksi diujicobakan didalam lingkungan produksi
4				X				Draft gambar desain telah lengkap
5					X			Peralatan, proses, metode dan desain teknik telah dikembangkan dan mulai diujicobakan.
6				X				Perhitungan perkiraan biaya telah divalidasi (<i>design to cost</i>)
7				X			Proses fabrikasi secara umum telah dipahami dengan baik	
8				X			Hampir semua fungsi dapat berjalan dalam lingkungan/kondisi operasi	
9				X			Prototipe lengkap telah didemonstrasikan pada simulasi lingkungan operasional	
10				X			Prototipe sistem telah teruji pada ujicoba lapangan	
11				X			Siap untuk produksi awal (<i>Low Rate Initial Production- LRIP</i>)	
Σ	0	0	0	3	8	1		
Σ	78,2%							
Indikator TKT 7 =						TIDAK TERPENUHI		

disajikan dalam Tabel 11. Artinya teknologi ini masih harus didemonstrasikan prototipenya dalam lingkungan/aplikasi sebenarnya sehingga masih perlu terus dikembangkan penelitian dan pengembangannya agar teruji dan segera dapat diimplementasikan dalam skala industri.

3. Kebijakan terkait penerapan aspal karet perlu didorong oleh pemerintah berangkat dari kesiapan tingkat penerapannya sambil terus dilakukan penelitian untuk penyempurnaan teknologinya.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Teknologi aspal karet berbasis lateks pravulkanisasi berdasarkan metode perhitungan TKT sudah mencapai level 9. Berdasarkan data lapangan teknologi ini sudah siap dan telah diterapkan pada skala komersial.
2. Teknologi aspal karet berbasis karet padat berupa serbuk vulkanisat karet alam berdasarkan metode perhitungan TKT masih mencapai level 6. Secara teknis teknologi ini sudah ada industri yang mampu memproduksi namun data terkait formula, kondisi proses, standar serbuk karet dan ujicoba skala lapang menjadi jalan aspal karet padat masih perlu pelajari dan dikembangkan guna mendukung implementasi skala

DAFTAR PUSTAKA

Azahar, N. M., Hassan, N. A., Jaya, R. P., Nor, H. M., Satar, M. K. I. M., Mashros, N., & Mohamed, A. (2019). Mechanical performance of asphalt mixture containing cup lump rubber. *Jurnal Teknologi, 81*(6), 179–185. <https://doi.org/10.11113/jt.v81i13.857>

Dekarindo. (2022). *Laporan Tahunan Data Industri Karet Hulu dan Hilir tahun 2021*.

Elmatsani, H. M. (2017). Pengembangan Aplikasi Pengukuran TKT Online. *Jurnal Rekayasa ElektriKa, 13*(3), 185. <https://doi.org/10.17529/jrc.v13i3.8584>

- Gracerringer, C., Garcia, S., Sivilly, J., Schenk, R. J., & Van Syckle, P. (2002). Using the Technology Readiness Levels Scale to Support Technology Management in the DoD's ATD / STO Environments A Findings and Recommendations. *Cmu?Sei-2002-Sr-027, September*.
- Hazoor, A., Mohd, F., Muniandy, R., Hassim, S., & Elahi, Z. (2021). Natural rubber as a renewable and sustainable biomodifier for pavement applications: A review. *Journal of Cleaner Production, 289*, 125727. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125727>
- Irfan, Subagio, B. S., Hariyadi, E. S., & Maha, I. (2021). Performance Evaluation of Pre-Vulcanized Liquid Natural Rubber (Pvlnr) in Hot Mix Asphaltic Concrete. *International Journal of GEOMATE, 20(78)*, 107–114. <https://doi.org/10.21660/2021.78.j2029>
- Jawapos.com. (2017). *Aspal Berbahan Karet Lebih Tahan Lama, Ini Tiga Daerah Yang Menerapkannya*. <https://www.jawapos.com/berita-sekitar-anda/01110667/aspal-berbahan-karet-lebih-tahan-lama-ini-tiga-daerah-yang-menerapkan>
- Jawapos.com. (2018). *125 Kilometer Jalan Provinsi Sumsel Gunakan Aspal Campur Karet*. <https://www.jawapos.com/ckonomi/0133405/125-kilometer-jalan-provinsi-sumsel-gunakan-aspal-campur-karet>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). *Kementerian PUPR Uji Coba Aspal Karet Alam di Jalan Lido Sukabumi*. <https://pu.go.id/berita/kementeria-n-pupr-uji-coba-aspal-karet-alam-di-jalan-lido-sukabumi>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). *Spesifikasi campuran beraspal panas dengan aspal yang mengandung karet alam (Pd-08-2019-B)*. 14.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). *Spesifikasi Khusus Iterim Aspal Karet Alam Padat SKh-2.M.04*.
- Prastanto, H., Cifriadi, A., & Ramadhan, A. (2015). Karakteristik Dan Hasil Uji Marshall Aspal Termodifikasi Dengan Karet Alam Terdepolimerisasi Sebagai Aditif. *Jurnal Penelitian Karet, 33(1)*, 75. <https://doi.org/10.22302/jpk.v33i1.173>
- Prastanto, H., Firdaus, Y., Puspitasari, S., Ramadhan, A., & Falaah, A. F. (2018a). Sifat Fisika Aspal Modifikasi Karet Alam Pada Berbagai Jenis Dan Dosis Lateks Karet Alam. *Jurnal Penelitian Karet, October*, 65–76. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v36i1.444>
- Prastanto, H., Firdaus, Y., Puspitasari, S., Ramadhan, A., & Falaah, A. F. (2018b). Studi Kinerja Kompon Karet Alam Tanpa Bahan Pengisi Sebagai Bahan Pemoifikasi Aspal Panas. *Jurnal Penelitian Karet, December 2018*, 157–164. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v36i2.549>
- Ramadhan, A., Puspitasari, S., Prastanto, H., Falaah, A. F., Maspanger, D. R., Andriani, W., Faturrohman, M. I., Sofyan, T. S., & Firdaus, Y. (2020). Development of Rubberized Asphalt Technology Based on Asphalt Cement (AC Pen 60) and Fresh Natural Rubber in Indonesia. *Macromolecular Symposia, 391(1)*, 1–6. <https://doi.org/10.1002/masy.202000075>

- Setyowati, H. E. (2019). *Presiden Pimpin Langkah Perbaiki Harga Karet Alam, Komandoi Para Menteri Ekonomi Hingga Dengar Langsung Keluhan Petani Karet di Daerah*. <https://ekon.go.id/publikasi/detail/1190/presiden-pimpin-langkah-perbaiki-harga-karet-alam-komandoi-para-menteri-ekonomi-hingga-dengar-langsung-keluhan-petani-karet-di-daerah>
- Syarifa, L. F., Agustina, D. S., Alamsyah, A., Nugraha, I. S., Asywadi, H., & Selatan, S. (2023). OUTLOOK KOMODITAS KARET ALAM INDONESIA 2023 Commodity Outlook of Indonesian Natural Rubber 2023. *Jurnal Penelitian Karet*, 41 (September), 47 – 58. <https://doi.org/https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v41i1.841>
- Vichitcholchai, N., Panmai, J., & Na-Ranong, N. (2012). Modification of Asphalt Cement by Natural Rubber for Pavement Construction. *Rubber Thai Journal*, 39(January), 32–39.