PENGARUH PENAMBAHAN LATEKS TERHADAP KARAKTERISTIK ASPAL PORUS DENGAN LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR

Gunawan Julianto[1], Eding Iskak Imananto[2], dan Hadi Surya Wibawanto[3]

[1] *Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: gunawanjulianto8@gmail.com
[2] *Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: edingiskak@yahoo.com
[3] *Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: hadiwibawanto@lecturer.itn.ac.id

ABSTRACT

This study examines the effect of latex addition on porous asphalt using 100% recycled concrete waste as a coarse aggregate substitute. Porous asphalt was chosen for its high porosity, which helps reduce surface water pooling, while concrete waste was utilized to conserve natural aggregates, and latex was added to improve elasticity and bonding strength. Marshall characteristic tests were conducted, including stability, flow, VIM, VMA, VFA, and Marshall Quotient, with latex variations of 0%, 3%, 3.5%, 4%, and 4.5%. Results show that recycled concrete waste is feasible as a coarse aggregate. Latex addition improved several parameters, with 4% latex providing the highest stability and best overall mix characteristics, although VIM values did not meet the 18–25% specification. In conclusion, 4% latex is the most effective in enhancing the performance of porous asphalt made with recycled concrete waste, supporting sustainable and environmentally friendly road pavement development.
Keywords: Porous Asphalt, Concrete Waste, Latex, Marshall Test, Coarse Aggregate.

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan lateks pada aspal porus dengan limbah beton sebagai pengganti 100% agregat kasar. Aspal porus dipilih karena porositasnya tinggi untuk mengurangi genangan air, sementara limbah beton dimanfaatkan guna menghemat agregat alami, dan lateks digunakan untuk meningkatkan elastisitas serta daya ikat. Pengujian karakteristik Marshall meliputi stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, dan Marshall Quotient, dengan variasi lateks 0%, 3%, 3,5%, 4%, dan 4,5%. Hasil menunjukkan limbah beton layak digunakan sebagai agregat kasar. Penambahan lateks meningkatkan beberapa parameter, dengan kadar optimum pada 4% yang menghasilkan stabilitas tertinggi dan karakteristik campuran terbaik, meski nilai VIM belum memenuhi spesifikasi. Kesimpulannya, lateks 4% paling efektif meningkatkan performa aspal porus berbasis limbah beton, mendukung inovasi perkerasan jalan ramah lingkungan.
Kata kunci: *Aspal Porus, Limbah Beton, Lateks, Marshall Test, Agregat Kasar.*

1. PENDAHULUAN

Transportasi darat menjadi moda utama di Indonesia karena dianggap lebih aman dan efisien. Sejak masa kolonial, perkembangannya turut mendorong urbanisasi serta kebutuhan akan infrastruktur jalan yang andal. Namun, tingginya curah hujan kerap menimbulkan genangan akibat sistem drainase yang kurang optimal, sehingga meningkatkan potensi kecelakaan. Salah satu solusi yang dikembangkan adalah penggunaan aspal porus, yang memiliki pori-pori besar untuk mempercepat aliran air menuju saluran pembuangan. Jenis aspal ini umumnya diaplikasikan pada jalan dengan lalu lintas ringan dan ditempatkan di atas lapisan kedap air. Agregat sebagai komponen utama perkerasan dapat digantikan dengan limbah beton untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam. Limbah beton sendiri berasal dari sisa konstruksi maupun pembongkaran bangunan, dan volumenya terus bertambah seiring tingginya pemakaian beton. Pemanfaatannya sebagai agregat kasar, sesuai standar nasional maupun internasional, berpeluang mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan. Selain itu, lateks—getah karet alami yang banyak dihasilkan di Indonesia—memiliki sifat elastis dan daya rekat tinggi sehingga potensial dijadikan bahan tambahan pada campuran aspal. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggantian agregat kasar dengan limbah beton pada kisaran 25–100% dapat meningkatkan stabilitas pada kondisi tertentu, meskipun penggunaan penuh (100%) cenderung menurunkan nilai flow. Sementara itu, penambahan lateks sebanyak 0–5% terbukti mampu

memperbaiki karakteristik Marshall, sehingga menjadikannya opsi modifikasi ramah lingkungan untuk perkerasan jalan.

2. DASAR TEORI

Aspal Porus

Aspal porus adalah jenis perkerasan dengan tingkat porositas tinggi yang mampu mengalirkan air dari permukaan menuju lapisan bawah secara efisien. Tingginya porositas ini disebabkan oleh penggunaan agregat halus dalam jumlah terbatas, yang berpotensi menurunkan ikatan antar agregat. Oleh karena itu, diperlukan aspal dengan viskositas tinggi serta daya ikat yang kuat agar campuran tetap stabil (Rahmawati & Hidayat, 2021). Selain mendukung fungsi drainase, aspal porus juga berkontribusi pada peningkatan keselamatan lalu lintas dengan meminimalkan risiko aquaplaning. Penerapan jenis perkerasan ini harus sesuai dengan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Material Perekerasan Aspal Porus

1. Aspal

Aspal merupakan material perekat berwarna hitam hingga coklat tua yang sebagian besar tersusun dari bitumen. Sifatnya termoplastis, yaitu berbentuk padat pada suhu ruang namun akan mencair bila dipanaskan hingga suhu tertentu. Penggunaannya diatur berdasarkan standar dari Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur (2018).

2. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material alami yang terbentuk dari proses disintegrasi batuan menjadi kerikil, atau berupa batu pecah yang dihasilkan melalui proses pemecahan batu secara industri. Berdasarkan SNI 1970-2008, agregat kasar memiliki ukuran butir antara 4,75 mm (No. 4) hingga 40 mm (No. 1½ inci). Dalam penggunaannya sebagai bahan perkerasan, agregat kasar harus memiliki ketahanan yang baik terhadap abrasi serta terbebas dari lempung maupun material lain yang dapat menempel pada permukaannya. Adapun ketentuan mengenai agregat kasar mengacu pada standar Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur (2018).

3. Agregat Halus

Menurut SNI 1970-2008, agregat halus merupakan material berbutir kecil yang dapat berasal dari hasil pelapukan alami batuan maupun dari proses pemecahan batu secara mekanis. Ukuran butir maksimum agregat halus ditetapkan 4,75 mm (saringan No. 4), dengan syarat harus memiliki sifat keras, bersih, serta bebas dari lempung maupun kotoran lain yang tidak diinginkan. Ketentuan teknis terkait penggunaannya diatur lebih lanjut dalam standar Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur (2018).

4. Bahan Tambahan

Bahan tambahan adalah material yang dicampurkan ke dalam aspal dengan tujuan memperbaiki atau meningkatkan sifat-sifatnya, seperti daya tahan, fleksibilitas, dan kekuatan. Aditif ini umum digunakan pada perkerasan aspal karena mampu meningkatkan kualitas serta spesifikasi aspal itu sendiri.

Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan merupakan pendistribusian ukuran material agregat pada campuran aspal, yang dimana pada gradasi ini diperoleh melalui analisis saringan dengan berbagai ukuran terbesar hingga terkecil. Gradasi agregat merupakan salah satu factor penting dalam kinerja perkerasan jalan yang mempengaruhi terhadap kekuatan, stabilitas, kepadatan dan *workability* campuran.

Tabel 1. Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal Porus

Nomor Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi % Berat yang Lolos
$^3/_4$	19,0	100
$^1/_2$	13,2	85-100
$^3/_8$	9,5	45-70
No.4	4,75	10-25
No.8	2,36	7-15
No.16	1,18	6-12
No.30	0,6	5-10
No.50	0,3	4-8
No.100	0,15	3-7
No.200	0,075	2-5

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA), 2004

Campuran Beraspal

Campuran beraspal merupakan kombinasi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengikat berupa aspal atau aditif yang berfungsi memberikan kekuatan terhadap beban lalu lintas dan pengaruh cuaca. Kualitas campuran dinilai melalui parameter karakteristik seperti stabilitas, durabilitas, flow, porositas (VIM, VMA, VFA), fleksibilitas, dan workability. Pada aspal porus, ketentuan teknis mengacu pada standar *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA, 2004) untuk memastikan kinerja optimal sesuai fungsi perkerasan.

Tabel 2. Spesifikai Campuran Aspal Porus

No.	Kriteria Perancangan	Nilai
1	Koefisien Permebilitas (cm/s)	0,1 – 0,5

2	Kadar Ringga di Dalam Campuran (VIM %)	18 – 25
3	Stabilitas Marshall (kg)	Min. 500
4	Kelelehan Marshall (mm)	2 – 6
5	Marhall Quotitien (MQ) (Kg/mm)	Maks. 400
6	Jumlah Tumbukan per Bidang	50

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA), 2004

Lateks

Lateks adalah partikel karet dalam air yang dapat berasal dari sumber alami, seperti getah pohon karet, maupun sintetis, seperti *styrene-butadiene rubber* (SBR). Lateks alami memiliki elastisitas dan daya rekat tinggi, sedangkan lateks sintetis lebih tahan cuaca dan oksidasi. Sebagai aditif aspal, lateks dapat meningkatkan fleksibilitas, ketahanan, serta kinerja perkerasan. Jenis yang umum digunakan meliputi SBR, akrilik lateks, PVA, neoprene, dan nitrile. Dengan sifat elastis, tahan panas, serta tahan aus, lateks berpotensi besar digunakan pada perkerasan jalan yang membutuhkan ketahanan deformasi dan kelenturan optimal.

Limbah Beton

Limbah beton dari sisa konstruksi atau pengujian laboratorium kerap terbuang dan menimbulkan masalah lingkungan. Pemanfaatannya sebagai pengganti agregat pada perkerasan jalan dapat mengurangi limbah sekaligus menghemat material baru. Secara umum, limbah beton bersudut, bertekstur kasar, dan berporositas tinggi, sehingga mendukung pembentukan pori pada aspal porus namun berisiko menurunkan *flow* karena campuran lebih kaku. Dibanding agregat alami, limbah beton memiliki berat jenis lebih rendah, daya serap aspal tinggi, kekuatan tekan lebih lemah, dan ketahanan aus rendah. Jika digunakan berlebihan tanpa modifikasi, sifat rapuhnya dapat menurunkan stabilitas Marshall akibat terbentuknya agregat halus yang menutup pori campuran.



Gambar 1. Limbah Beton Sisa Uji Silinder

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini merupakan pengujian yang dilakujan pada laboratorium dengan tujuan untuk mengkaji kelayakan limbah beton dan lateks sebagai campuran pada aspal porus. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Transportasi Institut Teknologi Nasional Malang, Kampus 1, Jl Bendungan Sigura -gura No. 2 Malang.

Metode Penelitian

Penelitian laboratorium ini meliputi tahap pengumpulan data serta pengujian mutu aspal dan agregat. Selanjutnya, dilakukan pencampuran dengan variasi proporsi agregat yang berbeda. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang didasarkan pada data empiris berbentuk numerik. Seluruh proses, mulai dari pengumpulan, analisis, hingga penyajian data, disampaikan dalam bentuk angka yang dapat dihitung. Hasil data kemudian diinterpretasikan untuk pengambilan keputusan dan penarikan kesimpulan. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum 2018 untuk pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan.



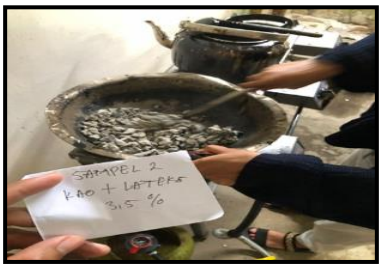
Gambar 2. Proses Pengumpulan Data Benda Uji

Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan membentuk sampel silinder berdiameter 10,16 cm dan tinggi 6,35 cm melalui proses pemanasan, pencampuran, dan pemadatan material berupa agregat limbah beton, agregat alami, aspal, serta bahan tambahan berupa lateks. Tahapan pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

Berikut versi yang sudah dipersingkat dan diparafrase:

1. Persiapan Material: Agregat limbah beton dan alami dikeringkan pada suhu 105–110°C, kemudian disaring sesuai gradasi dan diuji sifat fisiknya (impact, keausan Los Angeles, berat isi, berat jenis, dan angularitas).
2. Penimbangan: Agregat ditimbang sesuai proporsi campuran, dengan tiap kadar aspal dibuat lima sampel uji.
3. Pemanasan: Agregat dipanaskan hingga 150°C dan aspal ±145°C.
4. Pencampuran: Agregat panas dicampur dengan aspal dan lateks pada suhu 120–155°C hingga homogen.
5. Pencetakan: Campuran dimasukkan ke cetakan Marshall berlapis kertas saring dan vaselin dalam tiga lapisan, tiap lapisan ditusuk spatula untuk distribusi merata.
6. Pemadatan: Cetakan ditutup, lalu dipadatkan dengan alat Marshall manual sebanyak 50 tumbukan per sisi.
7. Pendinginan: Benda uji didiamkan ±15 menit, dilepas dari cetakan, dan diberi kode.
8. Kondisioning: Sampel dibersihkan dan disimpan pada suhu ruang selama 24 jam.
9. Pengujian: Benda uji kemudian diuji dengan metode Marshall.



Gambar 3. Proses Pembuatan Benda Uji

Tabel 3. Rencana Benda Uji

Pengujian	Variasi kadar aspal (%)					Jumlah sampel
	Pb - 1	Pb - 0,5	Pb	Pb + 0,5	Pb + 1	
Penentuan kadar aspal optimum (KAO)	3	3	3	3	3	15
Pengujian	KAO + Agregat limabah Beton + Variasi campuran Lateks					Jumlah sampel
	0%	3%	3,5%	4%	4,5%	
Pengujian Karakteristik aspal	6	6	6	6	6	30

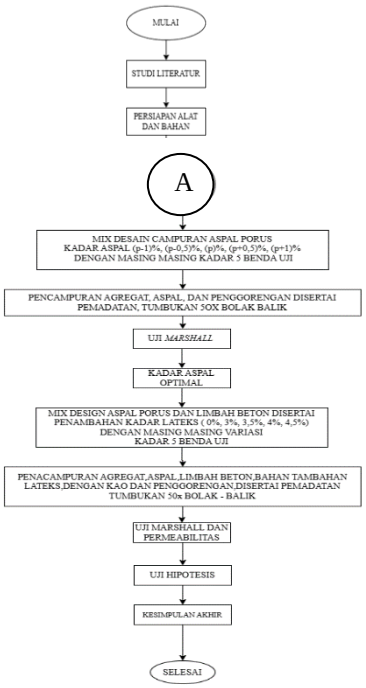
4. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Mutu dan Bahan

Dalam penelitian ini, material yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus alami, agregat limbah beton, serta aspal penetrasi 60/70. Pengujian analisis saringan dilakukan di Laboratorium untuk menentukan distribusi ukuran partikel agregat kasar, halus, dan campurannya.

Pengujian Agregat Alami

Pengujian agregat dilakukan untuk memastikan



material campuran aspal memenuhi syarat teknis serta memiliki sifat fisik dan mekanis yang sesuai bagi konstruksi perkerasan jalan. Mutu agregat sangat menentukan kekuatan, ketahanan, dan stabilitas lapisan. Ketahanan terhadap beban lalu lintas, benturan, dan gesekan dinilai melalui uji impact dan abrasi Los Angeles, sedangkan sifat fisik seperti berat isi, berat jenis, dan penyerapan air digunakan untuk menilai ketahanan terhadap cuaca dan perhitungan campuran. Uji angularitas dan flakiness index dilakukan untuk menilai bentuk serta tekstur agregat yang berpengaruh pada gesekan internal, ikatan dengan aspal, dan stabilitas. Agregat yang digunakan berasal dari AMP PT. Sriwijya 87, Kabupaten Malang, dengan pengujian mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Tabel 4. Hasil Pengujian Material Agregat Alami

No.	Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
AGREGAT HALUS						
1	Berat Jenis Agregat 0-5	SNI 1970 : 2016	≥ 2,50	2,59	-	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat 0-5		≤ 3	2,26	%	Memenuhi
3	Gum. Lempung & Butir Mudah Pecah	SNI 4141 : 2015	≤ 1	0,74	%	Memenuhi
4	Material lolos ayakan No. 200 (0 - 5)	SNI ASTM C117 : 2012	≤ 10	9,84	%	Memenuhi
5	Nilai Setara Pasir	SNI 03 - 4428 - 1997	≥ 50	75,66	%	Memenuhi
6	Berat Jenis Semen	SNI 2531 : 2015	-	3,06	-	-
AGREGAT KASAR						
7	Berat Jenis Ag. 5-10	SNI 1969 : 2016	≥ 2,50	2,64	-	Memenuhi
8	Berat Jenis Ag. 10-10			2,67	-	Memenuhi
9	Penyerapan Ag. 5-10		≤ 3	2,45	%	Memenuhi
10	Penyerapan Ag. 10-10			1,78	%	Memenuhi
11	Material lolos ayakan No. 200 (5 - 10)	ASTM C117 : 2012	≤ 1	0,94	%	Memenuhi
12	Material lolos ayakan No. 200 (10 - 10)			0,88	%	Memenuhi
13	Abrasi 100 Putaran	SNI 2417 : 2008	≤ 8	3,64	%	Memenuhi
14	Abrasi 500 Putaran		≤ 40	15,98	%	Memenuhi

Pengujian Agregat Limbah Beton

Pemeriksaan agregat limbah beton dilakukan untuk memastikan material substitusi agregat kasar memenuhi persyaratan teknis yang berlaku pada

konstruksi perkerasan jalan. Mengingat karakteristik limbah beton dapat berbeda dari agregat alami, pengujian diperlukan untuk menilai kelayakan dari segi sifat fisik maupun mekanis. Proses ini meliputi evaluasi ketahanan terhadap benturan dan keausan, sifat kerapatan dan penyerapan air, serta bentuk dan tekstur partikel yang memengaruhi daya ikat dengan aspal dan stabilitas campuran. Hasil pemeriksaan menjadi dasar penentuan proporsi penggunaan limbah beton dalam campuran aspal, sehingga kualitas perkerasan tetap terjaga meskipun menggunakan material daur ulang.

Tabel 5. Hasil Pengujian Material Agregat Limbah Beton

No.	Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
AGREGAT HALUS						
1	Berat Jenis Agregat 0-5	SNI 1970 : 2016	≥ 2,50	2,58	-	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat 0-5		≤ 3	2,95	%	Memenuhi
3	Gum. Lempung & Butir Mudah Pecah	SNI 4141 : 2015	≤ 1	0,74	%	Memenuhi
4	Material lolos ayakan No. 200 (0 - 5)	SNI ASTM C117 : 2012	≤ 10	9,84	%	Memenuhi
5	Nilai Setara Pasir	SNI 03 - 4428 - 1997	≥ 50	50,38	%	Memenuhi
6	Berat Jenis Semen	SNI 2531 : 2015	-	3,06	-	-
AGREGAT KASAR						
7	Berat Jenis Ag. 5-10	SNI 1969 : 2016	≥ 2,50	2,64	-	Memenuhi
8	Berat Jenis Ag. 10-10			2,58	-	Memenuhi
11	Penyerapan Ag. 5-10		≤ 3	2,45	%	Memenuhi
12	Penyerapan Ag. 10-10			6,34	%	Tidak
15	Material lolos ayakan No. 200 (5 - 10)	ASTM C117 : 2012	≤ 1	0,94	%	Memenuhi
16	Material lolos ayakan No. 200 (10 - 10)			0,92	%	Memenuhi
19	Abrasi 100 Putaran	SNI 2417 : 2008	≤ 8	7,77	%	Memenuhi
20	Abrasi 500 Putaran		≤ 40	33,42	%	Memenuhi

Pengujian Aspal

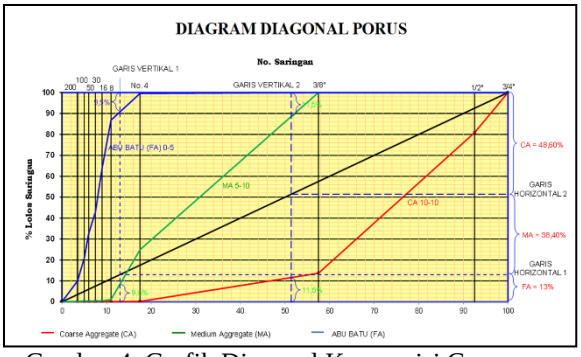
Pengujian aspal bertujuan memastikan bahan pengikat memenuhi standar teknis serta memiliki sifat fisik dan mekanis yang sesuai. Kualitas aspal berpengaruh terhadap stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas campuran. Evaluasi dilakukan melalui uji penetrasi, softening point, daktilitas, berat jenis, titik nyala, serta kehilangan berat akibat pemanasan untuk menilai kekerasan, ketahanan suhu, elastisitas, kerapatan, keamanan, dan ketahanan penuaan. Aspal yang digunakan berasal dari AMP PT. Sriwijaya 87, Kabupaten Malang, dengan acuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Tabel 6. Hasil Rekapitulasi Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
1	Penetrasi Pada 25°c	SNI 2456 : 2011	60-70	67,33	10^{-1} mm	Memenuhi
2	Berat Jenis Aspal	SNI 2441 : 2011	≥ 1,0	1,04	-	Memenuhi
3	Daktilitas Pada 25°c	SNI 2432 : 2011	≥ 100	140,0	cm	Memenuhi
4	Titik Nyala	SNI 2433 : 2011	≥ 230	325	°C	Memenuhi
5	Titik Bakar		-	330	°C	-
6	Titik Lembek Aspal	SNI 2434 : 2011	≥ 48	49,0	°C	Memenuhi
Pengujian Residu Hasil TFOT/RTFOT						
7	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	≤ 0,8	0,187	%	Memenuhi
8	Penetrasi Pada 25°c (% Semula)	SNI 2456 : 2011	≥ 54	85,81	%	Memenuhi
9	Daktilitas Pada 25°c	SNI 2432 : 2011	≥ 50	140	cm	Memenuhi

Perencanaan Komposisi Campuran

Setelah analisis gradasi menentukan berat jenis dan persentase agregat yang lolos tiap saringan, proporsi campuran kemudian dihitung dengan metode grafis, ditunjukkan pada grafik dan tabel komposisi berikut.



Gambar 4. Grafik Diagonal Komposisi Campuran Agregat Aspal Porus

Tabel 7. Gradasi Agregat Gabungan Aspal Porus

Ukuran Saringan	10/10	5/10	0/5	Filler	10/10	5/10	0/5	Filler	Hasil Gabungan	Spek	Fak. Luas	Luas Perm.
	%lolos	%lolos	%lolos	%lolos	47,67	37,82	12,81	1,50				
3/4" (19 mm)	100,00	100,00	100,00	100,00	47,67	37,82	12,81	1,50	100,00	100,00		
1/2" (12,5 mm)	80,78	100,00	100,00	100,00	38,57	37,82	12,81	1,50	90,80	85-100	0,41	0,41
3/8" (9,5 mm)	13,64	100,00	100,00	100,00	6,53	37,82	12,81	1,50	58,66	45-70		
No.4 (4,75 mm)	0,16	24,89	99,56	100,00	0,08	9,41	12,75	1,50	23,74	10-25		
No.8 (2,36 mm)	0,15	1,07	86,83	100,00	0,07	0,40	11,12	1,50	13,09	7-15	0,82	0,11
No.16 (1,18 mm)	0,14	0,44	63,88	100,00	0,07	0,17	8,18	1,50	9,92	6-12	1,64	0,16
No.30 (0,6 mm)	0,14	0,42	42,93	100,00	0,07	0,16	5,50	1,50	7,22	5-10	2,87	0,21
No.50 (0,28 mm)	0,13	0,40	32,65	100,00	0,06	0,15	4,18	1,50	5,89	4-8	6,14	0,36
No.100 (0,15 mm)	0,11	0,37	20,92	100,00	0,05	0,14	2,68	1,50	4,37	3-7	12,29	0,54
No.200 (0,075 mm)	0,06	0,26	9,98	100,00	0,03	0,10	1,28	1,50	2,90	2-5	32,77	0,95
JUMLAH LUAS PERMUKAAN AGREGAT (m²/kg)												2,74

Sumber : Hasil Penelitian

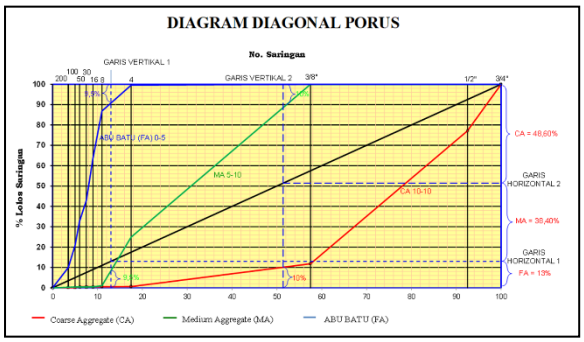
Komposisi Campuran Normal Untuk Variasi Aspal

Setelah proporsi masing-masing agregat ditentukan, dilakukan perhitungan kadar aspal rencana sebagai acuan dalam penentuan variasi kadar aspal. Variasi ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2019 Revisi 2 dengan perhitungan menggunakan rumus berikut:

P = 0,035 (%CA) + 0,045 (%FA) + 0,18 (%FF) + K

Dimana :

P = kadar aspal rencana, persen terhadap berat campuran
CA = proporsi fraksi kasar (tertahan saringan no.8)
FA = proporsi fraksi halus (lolos saringan no.8 dan tertahan saringan no.200)
FF = proporsi bahan pengisi (lolos saringan no.200)
K = konstanta



Gambar 6. Grafik Diagonal Komposisi Campuran Agregat Limbah Beton Aspal Porus

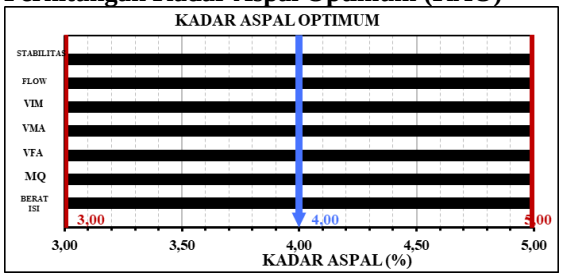
Tabel 8. Perencanaan Komposisi Campuran Aspal Porus

URAIAN							NILAI	SATUAN
Proporsi Fraksi Kasar					CA		86,91	%
Proporsi Fraksi Halus					FA		10,19	%
Proporsi Bahan Pengisi					FF		2,90	%
Total							100,00	%
Nilai Konstanta					K		0,00	-
Perkiraan Kadar Aspal					Pb		4,00	%
Rumus Perkiraan Kadar Aspal (Pb): Pb = 0,035 x (CA) + 0,045 x (FA) + 0,18 x (FF) + Konstanta (laston : 0,5~1 & latasbon : 1~2)								Campuran Gmm
Jenis Material	% Proporsi Agg.	KADAR ASPAL RENCANA (%)						
		3,00 %	3,50 %	4,00 %	4,50 %	5,00 %		4,00 %
		% Proporsi Campuran						
10/10	47,87	46,43	46,20	45,96	45,72	45,48		45,96
5/10	37,82	36,69	36,50	36,31	36,12	35,93		36,31
0/5	12,81	12,42	12,36	12,29	12,23	12,16		12,29
Filler	1,50	1,46	1,45	1,44	1,43	1,43		1,44
Total	100,00	97,00	96,50	96,00	95,50	95,00		96,00
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00
Jenis Material	Komposisi (%)	KADAR ASPAL RENCANA (%)						
		3,00 %	3,50 %	4,00 %	4,50 %	5,00 %		4,00 %
		Berat Agregat (gr)						
10/10	47,87	557,2	554,3	551,5	548,6	545,7		505,5
5/10	37,82	440,3	438,0	435,7	433,5	431,2		399,4
0/5	12,81	149,1	148,3	147,5	146,7	146,0		135,2
Filler	1,50	17,5	17,4	17,3	17,2	17,1		15,8
Berat total Ag. Camp. (gr)		1164,0	1158,0	1152,0	1146,0	1140,0		1056,0
Berat aspal (gr)		36,0	42,0	48,0	54,0	60,0		44,0
Berat total campuran (gr)		1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0		1100,0

Tabel 9. Gradasi Agregat Gabungan Limbah Beton Aspal Porus

Ukuran Saringan	10/10	5/10	0/5	Filler	10/10	5/10	0/5	Filler	Hasil Gabungan	Spek	Fak. Luas	Luas Perm.
	%lolos	%lolos	%lolos	%lolos	47,87	37,82	12,81	1,50				
3/4" (19 mm)	100,00	100,00	100,00	100,00	47,87	37,82	12,81	1,50	100,00	100,00		
1/2" (12,5 mm)	77,10	100,00	100,00	100,00	36,91	37,82	12,81	1,50	89,04	85-100	0,41	0,41
3/8" (9,5 mm)	11,79	100,00	100,00	100,00	5,64	37,82	12,81	1,50	57,77	45-70		
No.4 (4,75 mm)	0,59	24,89	99,56	100,00	0,28	9,41	12,75	1,50	23,95	10-25		
No.8 (2,36 mm)	0,51	1,07	86,83	100,00	0,25	0,40	11,12	1,50	13,27	7-15	0,82	0,11
No.16 (1,18 mm)	0,50	0,44	63,88	100,00	0,24	0,17	8,18	1,50	10,09	6-12	1,64	0,17
No.30 (0,6 mm)	0,49	0,42	42,93	100,00	0,23	0,16	5,50	1,50	7,39	5-10	2,87	0,21
No.50 (0,28 mm)	0,49	0,40	32,65	100,00	0,23	0,15	4,18	1,50	6,06	4-8	6,14	0,37
No.100 (0,15 mm)	0,08	0,37	20,92	100,00	0,04	0,14	2,68	1,50	4,36	3-7	12,29	0,54
No.200 (0,075 mm)	0,06	0,26	9,98	100,00	0,03	0,10	1,28	1,50	2,90	2-5	32,77	0,95
JUMLAH LUAS PERMUKAAN AGREGAT (m²/kg)												2,76

Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO)



Gambar 5. Grafik diagram batang kadar aspal optimum aspal porus

Kadar aspal optimum ditentukan berdasarkan Gambar 3, yang menunjukkan dua sisi perpotongan: sisi kiri sebagai batas maksimum dan sisi kanan sebagai batas minimum. Penentuannya dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{a+b}{2} = \frac{sisi\ kiri + sisi\ kanan}{2}$$

$$= \frac{3+5}{2}$$

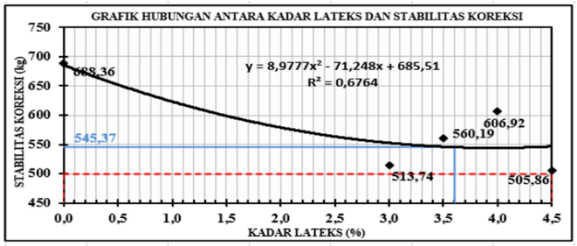
$$= 4\ \%$$

Perencanaan Komposisi Campuran Aspal Porus dengan Agregat Limbah Beton dan Lateks

Tabel 10. Komposisi campuran aspal porus dengan bahan tambahan lateks

Jenis Material	% Proporsi Agg.	KADAR ASPAL OPTIMUM (%)				
		4,00 %				
		% Proporsi Campuran				
		1	2	3	4	5
10/10	47,87	45,96	45,96	45,96	45,96	45,96
5/10	37,82	36,31	36,31	36,31	36,31	36,31
0/5	12,81	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29
Filler	1,50	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Total	100,00	96,00	96,00	96,00	96,00	96,00
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Jenis Material	Komposisi (%)	KADAR ASPAL OPTIMUM (%)				
		4,00 %				
		SAMPEL LATEKS				
		0%	3%	3,5%	4%	4,50%
		Berat Agregat (gr)				
10/10	47,87	551,5	551,5	551,5	551,5	551,5
5/10	37,82	435,7	435,7	435,7	435,7	435,7
0/5	12,81	147,5	147,5	147,5	147,5	147,5
Filler	1,50	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
Berat total Ag. Camp. (gr)		1152	1152,0	1152,0	1152,0	1152,0
Berat aspal (gr)		48	48,0	48,0	48,0	48,0
Berat total campuran (gr)		1200	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0

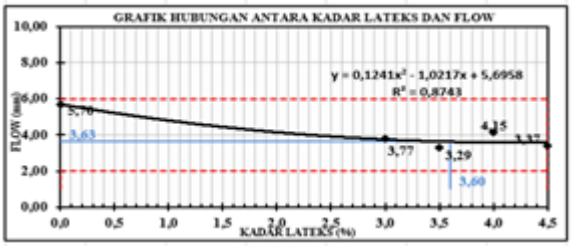
Hasil Grafik Lateks Sebagai Bahan Tambahan Dalam Campuran Aspal Porus Terhadap



Stabilitas, Flow, VIM,VMA,VFA, MQ, dan Density

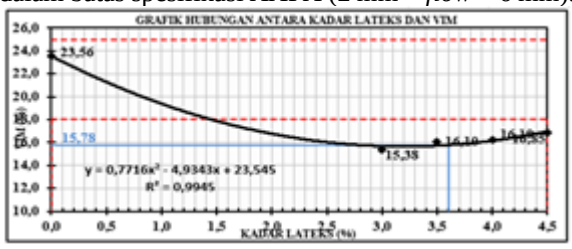
Gambar 7. Grafik hubungan antara kadar lateks dan Stabilitas koreksi aspal porus

Hubungan kadar lateks dengan stabilitas menunjukkan rentang 688,36 kg hingga 505,86 kg pada variasi 0%–4,5%. Grafik memperlihatkan adanya fluktuasi nilai stabilitas seiring peningkatan kadar lateks, namun seluruhnya tetap memenuhi batas minimal spesifikasi AAPA (>500 kg).



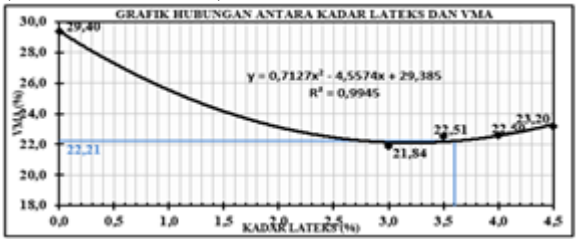
Gambar 8. Grafik hubungan antara kadar lateks dan Flow aspal porus

Gambar 8 menunjukkan hubungan kadar lateks dan *flow* dengan nilai berkisar 3,37–5,70 mm pada variasi 0%–4,5%, yang berfluktuasi namun tetap berada dalam batas spesifikasi AAPA (2 mm < *flow* < 6 mm).



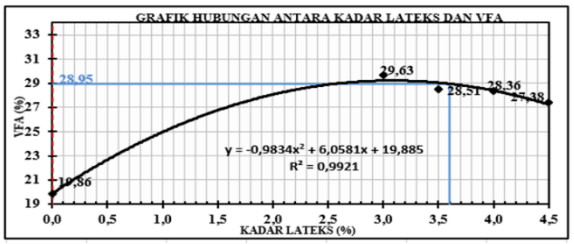
Gambar 9. Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk ban terhadap VIM

Gambar 9 menunjukkan hubungan kadar lateks dengan nilai VIM (Voids in the Mix) yang berada pada rentang 23,56%–16,85% untuk variasi 0%–4,5%. Grafik memperlihatkan tren penurunan VIM seiring bertambahnya kadar lateks, dan hanya pada kadar 0% nilai VIM masih sesuai dengan spesifikasi AAPA (18% < VIM < 25%).



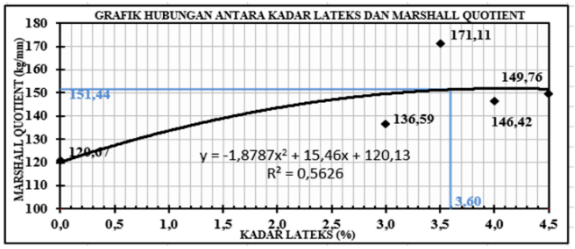
Gambar 10. Grafik hubungan antara kadar lateks dan VMA aspal porus

Dari gambar 10. Hubungan antara kadar lateks dan nilai VMA menunjukkan bahwa VMA berada dalam rentang 29,40% hingga 23,20% pada kadar lateks 0% hingga 4,5%. Grafik memperlihatkan adanya fluktuasi nilai VMA seiring bertambahnya variasi kadar lateks.



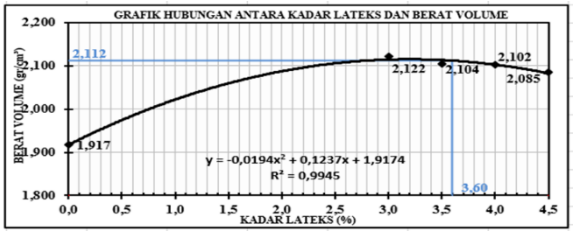
Gambar 11. Grafik hubungan antara kadar lateks dan VFA aspal porus

Gambar 11 menunjukkan hubungan kadar lateks dengan nilai VFA, yang berkisar antara 19,86%–27,38% pada variasi 0%–4,5%, dengan grafik memperlihatkan adanya fluktuasi seiring peningkatan kadar lateks.



Gambar 12. Grafik hubungan antara kadar lateks dan Marshall Quotient (MQ) aspal porus

Dari gambar 12, Hubungan antara kadar lateks dan nilai MQ menunjukkan rentang 120,67 kg/mm hingga 149,76 kg/mm pada variasi kadar lateks 0% hingga 4,5%. Grafik memperlihatkan fluktuasi nilai MQ seiring meningkatnya kadar lateks.



Gambar 13. Grafik hubungan antara kadar lateks dan Density aspal porus

Gambar 13 menunjukkan hubungan kadar lateks dengan nilai densitas, yang berkisar antara 1,917–2,085 gr/cm³ pada variasi 0%–4,5%, dengan grafik memperlihatkan fluktuasi seiring bertambahnya kadar lateks.

Perhitungan Kadar Lateks Optimum Pada Campuran Aspal Porus

Setelah dilakukan pengujian dan analisis grafik terhadap campuran aspal porus dengan agregat beton dan penambahan lateks, dilakukan perhitungan untuk menentukan kadar lateks optimum. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 4.50 berikut.

Tabel 11. Hasil Perhitungan kadar serbuk ban optimum pada campuran aspal porus

Parameter	a	b	c	x optimum (%)	y optimum
Stabilitas (kg)	8,978	-71,25	685,510	3,97	544,15
Flow (mm)	0,1241	-1,0217	5,6958	4,12	3,59
VIM (%)	0,7716	-4,9343	23,545	3,20	15,66
VMA (%)	0,7127	-4,5574	29,358	3,20	22,07
VFA (%)	-0,9834	6,0581	19,885	3,08	29,22
MQ (kg/mm)	-1,8787	15,4600	120,13	4,11	151,94
Density (gr/cm³)	-0,0194	0,1237	1,9174	3,19	2,11

Perhitungan dilakukan menggunakan rumus persamaan polynomial sebagai berikut :

X optimum = $-\frac{b}{2 \times a}$

Y optimum = a × X^2 + b × X + c

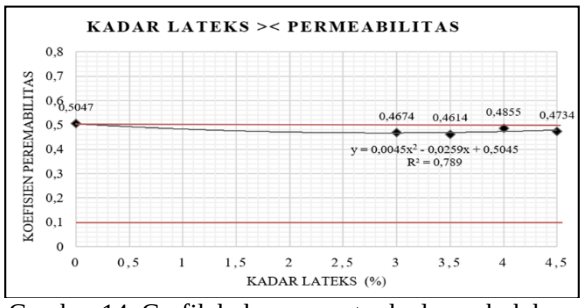
Sehingga setelah didapatkan semua nilai X optimum dari semua parameter pengujian marshall, diambil nilai rata – rata dari nilai X optimum yaitu sebagai berikut:

X optimum (Kadar Lateks)= $\frac{3,97+4,12+3,20+3,20+3,08+4,11+3,19}{2}$

= 3,6 %

Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil 3,6% sebagai nilai optimum penggunaan lateks.

Pengujian Permeabilitas Pada Aspal Porus Dengan Bahan Tamabahan Lateks



Gambar 14. Grafik hubungan antar kadar serbuk ban dan permeabilitas

Hasil uji permeabilitas menunjukkan bahwa pada kadar lateks dan agregat limbah beton 3%, 3,5%, 4%, dan 4,5%, nilai koefisien masih memenuhi spesifikasi AAPA (0,1 cm/dtk < K < 0,5 cm/dtk). Namun, pada kadar serbuk ban 0%, nilai koefisien meningkat hingga 0,5047 cm/dtk sehingga tidak sesuai dengan spesifikasi AAPA.

Rekapan Perbandingan Hasil Parameter Pengujian Marshall dan Permeabilitas

Rekapitulasi perbandingan hasil uji dilakukan antara campuran aspal porus pada kadar aspal optimum (KAO) dengan campuran yang ditambahkan lateks pada berbagai variasi. Pembahasan ini bertujuan untuk menilai pengaruh penambahan serbuk ban terhadap sifat fisik dan mekanik aspal porus, meliputi parameter stabilitas, flow, kadar rongga (VIM, VMA, VFA), Marshall Quotient (MQ), densitas, serta permeabilitas.

Tabel 12. Rekapan Perbandingan Hasil Paarameter Pengujian KAO dan Campuran Aspal Porus Dengan Agregat Limbah Beton Serta Bahan Tambahan Lateks

Parameter Pengujian	Kadar Aspal Optimum (KAO)	Kadar Serbuk Ban			
	4%	3%	3,5%	4,0%	4,5%
Stabilitas (Kg)	688,36	513,74	560,19	606,92	505,86
Flow (mm)	5,70	3,77	3,29	4,15	3,37
VIM (%)	23,56	15,38	16,10	16,19	16,85
VMA (%)	29,40	21,84	22,51	22,59	23,20
VFA (%)	19,86	29,63	28,51	28,36	27,38
MQ (Kg/mm)	120,67	136,59	171,11	146,42	149,76
Density (gr/cm³)	1,92	2,122	2,104	2,102	2,085

Berdasarkan rekapitulasi hasil uji Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran aspal porus dengan agregat limbah beton dan variasi lateks, terlihat bahwa penambahan lateks memengaruhi seluruh parameter Marshall. Nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada 0% lateks (688,36 kg) dan terendah pada 4,5% (505,86 kg), sementara pada KAO 3,6% mencapai 545,37 kg. Flow tertinggi tercatat pada 0% (5,70 mm) dan terendah pada 3,5% (3,29 mm). Nilai VIM menurun seiring bertambahnya lateks, dari 23,56% (0%) hingga stabil di kisaran 16,10–16,85% (3,5–4,5%). VMA tertinggi terdapat pada 0% (29,40%) dan terendah pada 3% (21,84%). VFA meningkat dengan penambahan lateks dan mencapai nilai tertinggi pada 3% (29,63%). Berat volume maksimum diperoleh pada 3% (2,112 g/cm³) dan minimum pada 0% (1,917 g/cm³). MQ tertinggi dicapai pada 3,5% (171,11 kg/mm) dan terendah pada 0% (120,67 kg/mm). Secara keseluruhan, KAO 3,6% dinilai memberikan keseimbangan sifat campuran meskipun sebagian parameter cenderung menurun pada kadar lateks tinggi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang, Jl. Bendungan Sigura-Gura No. 2, Malang, terkait pemanfaatan limbah beton sebagai substitusi agregat serta penggunaan lateks pada campuran aspal porus, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Performa campuran aspal porus dengan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar 10–10 serta penambahan lateks sebagai bahan tambahan.

Tabel 13. Hasil Pengujian Marshall

HASIL PENGUJIAN MARSHALL					
PARAMETER	0%	3%	3,5%	4%	4,5%
Stabilitas (kg)	688,4	513,7	560,2	606,9	505,9
Flow (mm)	5,7	3,8	3,3	4,1	3,4
VIM (%)	23,56	15,38	16,10	16,19	16,85
VMA (%)	29,40	21,84	22,51	22,59	23,20
VFA (%)	19,86	29,63	28,51	28,36	27,38
Berat Volume (gr/cm³)	1,917	2,122	2,104	2,102	2,085
MQ (kg/mm)	120,7	136,6	171,1	146,4	149,8

2. Berdasarkan data pada tabel, limbah beton dinilai layak digunakan sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran aspal porus karena sebagian besar parameter Marshall, seperti stabilitas, flow, densitas, dan Marshall Quotient (MQ), telah memenuhi spesifikasi teknis. Namun, nilai VIM masih berada di bawah standar AAPA (18–25%), sehingga tingkat porositas yang diharapkan pada aspal porus belum sepenuhnya tercapai meskipun kinerja mekanisnya menunjukkan potensi yang baik.
3. Penambahan lateks dengan variasi 0%–4,5% terbukti berpengaruh signifikan terhadap seluruh parameter Marshall, ditunjukkan oleh hasil uji-F satu arah dengan Fhitung > Ftabel (3,48). Kadar 3,6% dinilai paling optimal karena memberikan kinerja terbaik, yakni stabilitas dan Marshall Quotient tertinggi, serta nilai flow dan densitas yang sesuai spesifikasi. Namun, penambahan lateks belum mampu meningkatkan VIM hingga memenuhi standar Australian Asphalt Pavement Association (AAPA).

Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pemanfaatan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar (10–10) dan penggunaan lateks pada campuran aspal porus, maka disarankan beberapa hal untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Melakukan studi lanjutan dengan pemanfaatan limbah beton sebagai pengganti agregat halus (0–5), agregat sedang (5–10), maupun sebagai pengganti seluruh agregat alami.
2. Mengembangkan desain campuran atau modifikasi tambahan agar dapat memenuhi seluruh spesifikasi yang dipersyaratkan.
3. Meneliti penggunaan bahan tambahan lain selain lateks dengan variasi kadar yang lebih beragam.
4. Melakukan pengujian lanjutan menggunakan metode *permeability falling head* untuk mengetahui nilai permeabilitas pada aspal.

DAFTAR PUSTAKA

Arshad, A. K., Shaffie, E., Mohamad Kamal, M. I. A., Kamaluddin, N. A., & Hashim, W. (2024). *Evaluation Of Latex Modified Asphalt Mixture With Recycled Concrete Aggregate (Rca)*. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, *15*(3), 294–303. https://doi.org/10.30880/ijie.2024.15.03.025. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.

Australian Asphalt Pavement Association.(2004). *Asphalt Pavement Technology*. Victoria:AAPA.

Badan Standardisasi Nasional. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan - revisi 2*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyak, Direktorat Jendral Bina Marga.

Lailaturrahmi, K., Riyanto, A., AYani Tromol Pos Pabelan Kartasura, J. I., & Tengah, J. (2023). *Pemanfaatan Aspal Porus Dengan Aditif Lateks Ditinjau Dari Aspek Marshall Properties, Durabilitas, Ketidakrataan*. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2023*, 1–9.Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Patah, D., & Dasar, A. (2022). *Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton*. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, *10*(2), 158–163. https://doi.org/10.32487/jtt.v10i2.1580.Universitas Sulawesi Barat.

Rahmawati, A., & Hidayat, R. N. (2021). *Kinerja Campuran Aspal Porus Yang Dimodifikasi Dengan Lateks*. *Semesta Teknika*, *24*(1), 47–61. https://doi.org/10.18196/st.v24i1.11724.Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Rika Widianita, D. (2023). No. *Pemanfaatan Limbah Pecahan Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Asphalt-Concrete Wearing Course*. Title. *AT-TAWASSUTH: Jurnal Ekonomi Islam*, *VIII*(I), 1–19.Universitas Binda Darma Palembang.

Sembung, N. T., Sendow, T. K., & Palenewen, S. (2020). *Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon*. *Jurnal Sipil Statik*, *8*(3), 345–352.Universitas Sam Ratulangi Manado.

Siang, R., & Makmur, A. (2020). P*engaruh Penggunaan Limbah Beton Terhadap Parameter Marshall Campuran Beraspal Berpori*. *Jurnal Transportasi*, *20*(2), 97–104. https://doi.org/10.26593/jtrans.v20i2.4123.97-104.Universitas Kristen Krida Wacana.

Tilik, L. F. (2022). *Studi Karakteristik Marshall Pada Aspal Dengan Perbandingan Lateks Pada Lapisan Wearing Course*. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, *3*(2), 26–32. https://doi.org/10.52158/jaceit.v3i2.407.Politeknik Negri Sriwijaya.

Trianah, M., Wijaya Saputra, D., & Irnaninsih, S.

(2024). *Pengaruh Sejarah Perkembangan Alat Transportasi Darat, Laut, Dan Udara Di Indonesia Serta Dampaknya Terhadap Masyarakat*. *Seminar Nasional Pendidikan*, 2584–2592. https://jurnal.umj.ac.id/index.php/SEMNASFIP/article/view/24066.Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Widianto, B. W., & Faishal, M. I. (2021). *Perubahan Karakteristik Aspal Pen 60/70 Dengan Substitusi Getah Karet Alam Pangkalan Balai, Sumatera Selatan*. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, *6*(3), 143. https://doi.org/10.26760/rekaracana.v6i3.143.Institut Teknologi Nasional Bandung