



JURNAL TEKNIK SIPIL LATERAL
JURNAL TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS TRIDINANTI

**STUDI LITERATURE REVIEW PERKEMBANGAN PENELITIAN
ASPAL PORUS (TAHUN 2017 – 2021)**

**Hendrik Jimmyanto¹⁾, Ani Firda¹⁾, Hariman Al Faritzie^{1)*}, Indra Syahrul Fuad¹⁾,
Felly Misdalena¹⁾, Lega Reskita Lubis²⁾**

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti, Jl. Kapten Marzuki No.2446 Kamboja Palembang

²⁾Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara, Bukit Lama, Kec. Ilir Bar. I, Kota Palembang

*Corresponding Author, email: alfaritzie@univ-tridinanti.ac.id

Abstract

Road pavement is composed of layers that are hardened with a mixture of aggregate and asphalt (flexible pavement) or aggregate and cement (rigid pavement). Each of these types of pavement has a different behavior. Environmental factors such as high rainfall can influence pavement performance where flexible pavement is very susceptible to waterlogging, therefore there is a type of porous asphalt called porous asphalt. This article discusses the results of a literature review of the development of existing porous asphalt from 2017 to 2021 using an international journal database. The results of the literature review show that there are several modifications to the porous asphalt mixture, namely by using rubber materials, polymer materials, fiber materials, and filler materials. Each of these materials produces a different performance. For this reason, further research is needed regarding the use of rubber and fiber materials in modifying porous asphalt mixtures to complete information regarding the development of porous asphalt.

Key Words: Literature Study, Porous Asphalt, Rubber, Fiber, Polymer, Filler.

Abstrak

Perkerasan jalan tersusun atas lapisan yang diperkeras dengan campuran agregat dan aspal atau disebut dengan perkerasan lentur ataupun agregat dengan semen atau perkerasan kaku. Masing-masing jenis perkerasan ini memiliki perilaku yang berbeda. Faktor lingkungan seperti curah hujan yang tinggi dapat mempengaruhi dari kinerja perkerasan dimana perkerasan lentur sangat rentan terhadap genangan air, maka dari itu terdapat jenis aspal berpori yang disebut dengan aspal porus. Dalam artikel ini membahas mengenai hasil studi literatur review perkembangan aspal porus yang sudah ada dari tahun 2017 sampai 2021 dengan database jurnal internasional. Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa terdapat beberapa modifikasi pada campuran aspal porus yaitu dengan menggunakan bahan karet, bahan polimer, bahan fiber dan bahan filler. Masing-masing bahan tersebut menghasilkan kinerja yang berbeda-beda. Untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan bahan karet dan bahan fiber dalam modifikasi campuran aspal porus agar melengkapi informasi mengenai perkembangan aspal porus.

Kata Kunci: Studi Literatur, Aspal Porus, Karet, Fiber, Polimer, Filler.

PENDAHULUAN

Sistem lapisan perkerasan jalan merupakan hal yang sangat penting dalam konektivitas suatu daerah.

Perkerasan jalan yang baik memiliki durabilitas yang tinggi sehingga umur layannya pun panjang. Durabilitas dari perkerasan jalan tersebut juga dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis kendaraan yang lewat, suhu, pengaruh air hujan, dan lainnya. Durabilitas perkerasan jalan ini dipengaruhi oleh jenis perkerasan jalan yang diterapkan. Umumnya, terdapat dua tipe perkerasan jalan yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan rigid (*rigid pavement*). Selain dari kedua tipe tersebut, terdapat pula perkerasan komposit (*composite pavement*) yang menggabungkan kedua tipe tersebut.

Perkerasan lentur memiliki beberapa komponen yang terdiri dari tanah dasar (*sub-grade*), lapis pondasi bawah (*sub-base course*), lapis pondasi (*base course*), dan lapis permukaan (*surface course*). Komponen tanah dasar merupakan komponen tanah yang dipadatkan untuk menambah daya dukung tanah. Lapis pondasi bawah merupakan lapisan yang berfungsi menyebarkan beban roda kendaraan ke tanah dasar dan juga untuk mencegah lapis tanah dasar masuk ke lapisan pondasi. Lapisan pondasi bagian perkerasan yang berfungsi untuk menjaga kestabilan perkerasan jalan agar mampu menahan beban roda kendaraan. Lapisan ini haruslah kokoh dan mampu menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya. Lapisan pondasi dapat berupa agregat batu pecah (*split*). Lapisan permukaan merupakan lapisan paling atas yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan, sehingga lapisan ini harus tahan terhadap keausan (*wearing course*).

Kelebihan dari perkerasan lentur ini antara lain memiliki biaya konstruksi yang relatif rendah, masa pemeliharaan yang tidak menunggu waktu lama, perjalanan relatif lebih nyaman, pelaksanaannya relatif lebih mudah dibandingkan perkerasan kaku, dan biaya perbaikan lebih murah. Apabila dibandingkan dengan perkerasan kaku, perkerasan kaku memiliki biaya relatif lebih tinggi, masa pemeliharaan relatif lebih lama karena beton memerlukan waktu untuk curing, dan biaya pemeliharaan relatif lebih tinggi. Namun, perkerasan lentur juga memiliki kelemahan yaitu durabilitas terhadap beban kendaraan yang berat relatif lebih lemah, umur layan lebih pendek daripada perkerasan kaku, frekuensi pemeliharaan yang tinggi, dan memerlukan energi yang tinggi untuk mencampur aspal.

Di dalam masa operasionalnya, perkerasan lentur mengalami berbagai permasalahan, salah satunya genangan air ketika curah hujan tinggi. Genangan air tersebut membuat perkerasan jalan menjadi tidak tahan lama masa pelayanannya. Oleh karena itu, perkerasan lentur ini berkembang menjadi perkerasan dengan aspal berpori (*porous asphalt*). Aspal berpori merupakan perkerasan lentur dengan durabilitas yang tinggi dan mampu mengatasi genangan air dalam waktu yang cukup lama. Hal ini dikarenakan aspal berpori mampu dilewati oleh air dan air tersebut diteruskan ke sistem drainase. Rongga yang ada pada aspal berpori ini didukung oleh sistem agregat yang open graded gradation. Dimana agregat tersebut diatur untuk memiliki celah antar agregat sehingga terbentuklah celah. Aspal berpori ini juga sering digunakan pada lahan parkir, pedestrian pejalan kaki, taman kanak-kanak, dan lalu lintas dengan volume tinggi yang dilewati oleh truk.

Di dalam perkembangannya, aspal berpori ini juga dimodifikasi menggunakan berbagai material seperti *high viscosity asphalt*, *styrene-butadiene styrene (SBS) modifier asphalt*, bahan fiber, dan juga bahan tambahan karet didalam campuran perkerasan. Hasil dari berbagai penelitian tersebut memiliki hasil yang berbeda-beda terhadap berbagai kondisi. Maka dari itu, di dalam tulisan ini memuat berbagai ulasan mengenai berbagai penelitian mengenai aspal berpori dan berbagai modifikasinya. Hal ini bertujuan untuk memetakan bagaimana perkembangan aspal berpori ini di dunia dan bagaimana pencapaian penelitian mengenai hal tersebut.

METODE LITERATUR REVIEW

Sampel jurnal dipilih dalam empat langkah yaitu pemilihan basis data, pencarian awal, pemilihan sampel, dan penyempurnaan sampel setelah mengidentifikasi artikel yang berkaitan. Pencarian awal database dengan menggunakan kata kunci aspal porus dan perkerasan jalan pada alat pencarian (*search*

engine) Google Scholar. Dengan membaca judul dan abstrak, seluruh penelitian yang tidak relevan dikeluarkan dari pencarian awal sampel (Jimmyanto, et al 2023).

HASIL STUDI LITERATURE REVIEW

Peningkatan performa aspal porus terus dikembangkan dengan menggunakan bahan tambahan maupun modifikasi yang dilakukan pada aspal sendiri ataupun campuran agregat. Perilaku modifikasi aspal dengan penambahan bahan tambahan dimaksudkan untuk meningkatkan sifat reologi aspal yang dapat tahan terhadap suhu dan tahan terhadap deformasi. Dari hasil *review* tahun 2017 sampai 2021, bahan tambahan yang dapat diaplikasikan dalam campuran aspal porus yaitu terdiri atas bahan karet, bahan polimer, bahan filler dan modifikasi campuran.

1) Modifikasi Aspal Porus dengan Bahan Karet

Secara umum bahan karet terdiri atas karet padat dan karet cair yang dapat diperoleh dari penyadapan pohon karet. Produk karet cair biasanya disebut dengan lateks dan produk hasil endapan karet cair menjadi karet padat disebut dengan karet remah/crumb rubber. Tabel 1 menunjukkan hasil review penelitian aspal porus dengan menggunakan bahan tambahan karet yang terdiri atas *crumb rubber*, *scrapped tire rubber*, *natural rubber latex*, *Waste Rubber (WR)*, *rubber powder*, *cup lump*. Cesare Sangiorgi, et al (2017) menggunakan *crumb rubber* yang berasal dari limbah ban dengan kadar 1% terhadap agregat menggunakan spesifikasi dari Italia. Penerapan *crumb rubber* mengurangi permeabilitas vertikal dan ketahanan deformasi permanen, meningkatkan afinitas agregat aspal dan mengontrol laju drainase tanpa penambahan serat. Di sisi lain, *crumb rubber* menurunkan nilai kekakuan pada suhu rendah. Penambahan lilin (*wax*) asam lemak amida yang diteliti oleh Pedro Lastra-Gonzalez, et al (2017), juga dapat meningkatkan kekakuan pengikat *crumb rubber*, komponen elastis dan durabilitas terhadap efek termal.

Tabel 1. Hasil *review* aspal porus dengan bahan karet

No.	Judul	Penulis	Tahun	Bahan Tambahan	% Kadar Bahan	Bitumen Grade
1	<i>A complete laboratory assessment of crumb rubber porous asphalt</i>	Cesare Sangiorgi, et al.	2017	<i>crumb rubber</i>	1%	45/80
2	<i>Porous asphalt mixture with alternative aggregates and crumb-rubber modifies binder at reduced temperature</i>	Pedro Lastra-Gonzalez, et al.	2017	<i>crumb rubber</i>	10%	45/80
3	<i>Open graded asphalt concrete grouted by latex modified cement mortar</i>	Sang Luo, et al.	2018	<i>Latex</i>	-	40–60
4	<i>Monitoring separation tendency of partial asphalt replacement by crumb rubber modifier and guayule resin</i>	Ahmed Hemida, et al.	2020	<i>crumb rubber, guayule resin</i>	2,3%, 6,5%, 6,8%, 8,3%, 12,5%	PG 64-22
5	<i>Characteristics of waste tire rubber (WTR) and amorphous poly alpha olefin (APAO) compound modified porous asphalt mixtures</i>	Kezhen Yan, et al.	2020	<i>Waste tire rubber (WTR) and amorphous poly alpha olefin (APAO)</i>	4% dan 6%	69,7

2) Modifikasi Aspal Porus dengan Bahan Polimer

Tabel 2 menunjukkan hasil review aspal porus dengan bahan polimer banyak menggunakan *styrene-butadiene styrene (SBS)*. SBS adalah sejenis elastomer termoplastik yang memiliki elastisitas yang sama dengan karet pada suhu normal, dan dapat meleleh untuk mengalir pada suhu tinggi seperti plastik. SBS

memiliki struktur ikatan silang yang longgar dan hanya berkontribusi pada kekuatan tarik ketika rantai diregangkan hingga tingkat yang tinggi serta dapat meregangkan dan memulihkan bentuk.

Tabel 2. Hasil review aspal porus dengan bahan polimer

No.	Judul	Penulis	Tahun	Bahan Tambahan	% Kadar Bahan	Bitumen Grade
1	<i>Performance enhancement of porous asphalt pavement using red mud as alternative filler</i>	Hengji Zhang, et al.	2018	styrene-butadienestyrene (SBS) polymer	8%	38
2	<i>Laboratorial investigation on effects of microscopic void characteristics on properties of porous asphalt mixture</i>	Bing Yang, et al.	2019	styrene – butadiene – styrene block copolymer (SBS)	8%	38
3	<i>Investigation of engineering properties and filtration characteristics of porous asphalt concrete containing activated carbon</i>	Xiaodi Hu, et al.	2019	Styrene-butadiene-styrene (SBS), activated carbon for mineral filler	25%, 50%, 75% dan 100% activated carbon	68
4	<i>Asphalt mixture design for porous ultra-thin overlay</i>	Ziming Liu, et al.	2019	styrene–butadienestyrene (SBS)	-	66.6
5	<i>Three-dimensional mesoscopic permeability of porous asphalt mixture</i>	Nigui Qian, et al.	2020	Styrene-Butadiene-Styrene (SBS)	-	52
6	<i>Investigation of the adhesive and cohesive properties of asphalt, mastic, and mortar in porous asphalt mixtures</i>	Xiaowei Wang, et al.	2021	styrene-butadienestyrene modified asphalt (SBS),	-	67
7	<i>Laboratory Investigation on effects of solid waste filler on mechanical properties of porous asphalt mixture</i>	Yu Tian, et al.	2021	styrene-butadienestyrene (SBS)	-	PG 82-28
8	<i>The Effect of two phases mixing on the functional and mechanical properties of TPS/SBS-modified porous asphalt concrete</i>	Aleksei Kiselev, et al.	2021	Styrene-butadiene-styrene	4% SBS, 6%, 8%, dan 10% TPS	93
9	<i>Critical assessment of new polymer-modified bitumen for porous asphalt mixtures</i>	Anik Gupta, et al.	2021	high-vinyl content styrene-butadiene copolymer and Sulphur	3% sampai 7%	70/100
10	<i>Design and evaluation of high-luminance porous asphalt mixtures based on wasted glass for sponge city</i>	Bochao Zhou, et al.	2021	glass aggregate, styrene – butadiene – styrene (SBS)	-	74
11	<i>Evaluation of open-grade friction course (OGFC) mixtures with high content SBS polymer modified asphalt</i>	Jiawei Zhang, et al.	2021	styrene-butadienestyrene (SBS) polymer	4,5%, 6,0%, 7,5%, dan 9,0%	64,1
12	<i>Three-dimensional characterization of air voids in porous asphalt concrete</i>	Zhanqi Wang, et al.	2021	SBS	-	-

Pencampuran aspal dengan SBS dimaksudkan untuk menjaga ketahanan campuran aspal terhadap suhu. SBS digunakan untuk memodifikasi sifat fisik dalam campuran aspal porus sehingga menghasilkan ikatan yang kuat antar agregat walaupun terdapat rongga-rongga udara. Modifikasi SBS dengan bahan campuran lain telah banyak dilakukan oleh peneliti lain, seperti menggunakan bahan filler dari limbah. Hengji Zhang, et al (2018) menggunakan limbah *red mud* untuk pencampuran dalam aspal porus dengan SBS. Filler *red mud* menunjukkan kinerja yang lebih baik pada suhu tinggi daripada batu kapur dengan rasio pengisi-bitumen yang sama, meningkatkan kinerja adhesi aspal sedangkan batu kapur menunjukkan pengurangan adhesi pada rasio bitumen pengisi yang lebih rendah, kandungan *red mud* yang lebih besar menurunkan permeabilitas dan meningkatkan kadar aspal.

Aspal porus dibuat ditujukan untuk meneruskan air dari jalan menuju drainase bawah jalan sehingga saat hujan tidak membanjiri permukaan jalan. Studi laboratorium mengenai rongga dalam aspal porus telah diteliti oleh Bing Yang, et al (2019) dengan menganalisis korelasi antara sifat-sifat campuran aspal porus dengan tiga jenis parameter karakteristik rongga yang diperoleh melalui *computed tomography* (CT). Ditemukan bahwa parameter karakteristik rongga mikroskopis memberikan sedikit pengaruh pada ketahanan sensitivitas kelembaban pada suhu tinggi, tetapi korelasi kuat dengan sifat lain seperti ketahanan raveling, permeabilitas, porositas ikat dan pengurangan kebisingan.

Daya serap aspal porus juga dipengaruhi oleh jenis bahan penyusun campuran aspal, Xiaodi Hu, et al (2019) menggunakan karbon aktif dalam campuran aspal porus. Hasil pengujian kehilangan abrasi dan drainase menunjukkan bahwa karbon aktif meningkatkan kadar aspal optimum campuran aspal berpori karena daya serap dan luas permukaannya yang tinggi. Kekuatan campuran dipengaruhi oleh efek pelunakan kadar aspal yang tinggi dan efek kekakuan karbon aktif. Selain itu, sampel campuran dengan karbon aktif yang sepenuhnya menggantikan pengisi mineral lebih unggul dalam stabilitas kelembaban dan efektivitas filtrasi dibandingkan dengan sampel kontrol tanpa karbon aktif. Karbon aktif dapat memodifikasi absorptivitas film aspal dan oleh karena itu meningkatkan tingkat penghilangan polusi untuk PAC.

Anik Gupta, et al (2021) melakukan eksperimen dengan membuat bahan polimer untuk campuran aspal porus dengan *high-vinyl content polymer*. SBS dengan konten vinil tinggi (>35%) meningkatkan viskositas dan meningkatkan ikatan antara polimer dan aspal. Proses pembuatan terdiri dari pembuatan masterbatch konsentrasi tinggi (7,5% SBS) dan kemudian membuat pengenceran untuk mencapai konsentrasi polimer yang berbeda dalam kisaran dari 3% hingga 7%. Disimpulkan bahwa aspal percobaan dengan kandungan polimer 4,5% menunjukkan respon elastis yang lebih tinggi, ketahanan leleh yang lebih baik, dan perilaku rutting yang lebih baik.

3) Modifikasi Aspal Porus dengan Bahan Fiber

Penggunaan aspal porous (PA) pada lapisan permukaan perkerasan jalan adalah salah satu solusi paling umum di seluruh dunia untuk mengatasi dampak perubahan iklim seperti hujan lebat. Serat biasanya ditambahkan dalam campuran PA untuk meningkatkan daya tahan, tetapi akan mengubah interkonektivitas distribusi rongga udara dan dapat mengubah kinerja permeabilitas sampai batas tertentu. Dari beberapa studi literatur yang telah dilakukan, terdapat berbagai macam serat dalam pengembangan aspal porus yang disajikan pada Tabel 3.

Márcia Lopes Afonso, et al (2017) melakukan studi penggunaan *cellulosic fibres* pada campuran aspal porus untuk mengevaluasi kinerja campuran. Penggunaan serat dalam komposisi campuran meningkatkan kinerja untuk limpasan di perkerasan, jika dibandingkan dengan campuran tanpa fiber. Dengan demikian, penggabungan serat selulosa untuk menyerap lebih banyak pengikat memungkinkan drainase air di antara rongga campuran. Amir Tabakovi, et al (2019) menggunakan *steel fibre* dalam menyelidiki efektivitas penyembuhan diri gelombang mikro untuk perbaikan retakan campuran aspal porus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat baja meningkatkan kekakuan awal dan kekuatan campuran. Penambahan serat baja secara signifikan meningkatkan kinerja penyembuhan aspal dengan kadar serat baja 5% yang mengungguli campuran kontrol.

S. Xu, et al (2020) menggunakan steel fiber dan kapsul kalsium alginat sebagai usulan dalam penyembuhan sendiri aspal porus. Steel fiber yang digunakan dengan kadar 6% dari berat aspal yang berukuran panjang 1.4 mm dengan diameter 40 mikrometer. Gambar CT-scan menunjukkan bahwa kapsul dan serat baja dapat didistribusikan secara acak dalam aspal porus dan berikatan dengan aspal. Sistem penyembuhan ini mampu mencapai penyembuhan retak yang efektif dan peremajaan aspal yang

berkontribusi pada penyembuhan yang lebih tahan lama pada aspal porus. Studi menggunakan elemen penguat berbentuk serat yang baru dikembangkan dari bahan komposit serat karbon yang diawetkan, telah diteliti oleh Kun Zhang, et al (2021). Kadar serat karbon yang digunakan 0.15%, 0.30%, dan 0.45% terhadap berat campuran. Hasilnya menunjukkan bahwa karbon berbentuk serat membantu menstabilkan pengikat aspal dan meningkatkan infiltrasi air. Penambahan dosis tinggi pada sreat tersebut mampu meningkatkan ductility dan ketahanan retak, tetapi mengurangi kekuatan tarik. Berdasarkan dosis yang diuji dalam penelitian ini, dosis maksimum yang direkomendasikan dari serat karbon ini dalam campuran porus aspal adalah 0,15%.

Tabel 3. Hasil review aspal porus dengan bahan fiber

No.	Judul	Penulis	Tahun	Bahan Tambahan	% Kadar Bahan	Bitumen Grade
1	<i>Study of the porous asphalt performance with cellulosic fibres</i>	Márcia Lopes Afonso, et. al	2017	<i>Cellulosic fibres</i>	-	45/80
2	<i>Microwave self-healing technology as airfield porous asphalt friction course repair and maintenance system</i>	Amir Tabaković, et al.	2019	<i>Steel fibre</i>	5%, 10% and 15%.	160/220
3	<i>Reuse of carbon fiber composite materials in porous hot mix asphalt to enhance strength and durability</i>	Kun Zhang, et al.	2019	<i>Carbon fibres</i>	0.05% of the total mixture weight	PG 70-22ER
4	<i>A novel self-healing system: Towards a sustainable porous asphalt</i>	S.Xu, et al.	2020	<i>Steel fibres and calcium alginate capsules</i>	6% steel fibres, 7% calcium alginate capsules	-
5	<i>Laboratory assessment of porous asphalt mixtures reinforced with synthetic fibers</i>	Carlos J.Slebi-Acevedo, et al.	2020	<i>Polyolefin/aramid fibers, homopolymer polyacrylonitrile (PAN) synthetic fiber.</i>	0,05%	50/70
6	<i>Advancement in measuring the hydraulic conductivity of porous asphalt pavements</i>	F. Giuliani, et al.	2021	<i>The glass fibre</i>	0,30%	PG 82-22
7	<i>Performance evaluation of porous asphalt mixture enhanced with high dosages of cured carbon fiber composite materials</i>	Kun Zhang, et al.	2021	<i>Carbon fibre</i>	0,05%	PG 70-22ER
8	<i>Selection of fibers to improve porous asphalt mixtures using multi-criteria analysis</i>	Anik Gupta, et al.	2021	<i>Fibres</i>	4,5% dan 5%	50/70
9	<i>Characterization of the interconnected pore and its relationship to the directional permeability of porous asphalt mixture</i>	Xiang Ma, et al.	2021	<i>Polyester Fibres</i>	0,25%	-

4) Modifikasi Aspal Porus dengan Bahan Filler

Tabel 4. Menunjukkan hasil review jurnal mengenai campuran aspal terhadap berbagai macam filler seperti *limetone*, *fly ash*, *zeolite*, *crumb rubber powder*, *NieZn ferrite*, *calcium carbonate*, *hydrated lime*, *nano-clay*, *nano-lime*, *diatomite*, *red mud*, *portland cement*. Xingyi Zhu, et al (2019) mempelajari pengaruh kandungan ferit pada kinerja perkerasan, sifat mekanik dan efek pemanasan. Bubuk ferit adalah sejenis oksida logam dengan feromagnetisme dan yang kinerjanya sangat stabil. Di bawah aksi radiasi gelombang mikro, ferit dapat menghasilkan panas dengan mengkonsumsi gelombang elektromagnetik. Dengan pembebanan berulang, retak dan *ravelling* dapat terjadi secara bertahap pada perkerasan berpori karena

peningkatan tekanan air pori internal. Didapatkan bahwa waktu pemanasan gelombang mikro yang optimal dan peluang penyembuhan yang optimal dari campuran aspal ini dengan ferit 5%. Yu Tian, et al (2021) menggunakan limbah seperti *fly ash*, *diatomite*, dan *red mud* dalam campuran aspal porus sebagai filler. Objek yang diteliti yaitu menginvestigasi pengaruh sifat fisika dan kimia dari penggunaan filler tersebut pada sifat mekanik campuran aspal porus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengisi berpori seperti *diatomite* dan *red mud* secara signifikan meningkatkan kinerja ikatan, kekuatan, kekakuan, dan ketahanan penuaan campuran aspal karena efek adsorpsi dan pengerasan pada pengikat aspal.

Tabel 4. Hasil review aspal porus dengan berbagai filler

No.	Judul	Penulis	Tahun	Bitumen Grade	Filler
1	<i>Investigation of microstructure characteristics of porous asphalt with relevance to acoustic pavement performance</i>	S. Alber, et al.	2018	-	Limestone
2	<i>Laboratory investigation of OGFC-5 porous asphalt ultra-thin wearing course</i>	Mingjun Hu, et al.	2019	41 – 56,1	Limestone
3	<i>Self-healing properties of ferrite-filled open-graded friction course (OGFC) asphalt mixture after moisture damage</i>	Xingyi Zhu, et al.	2019	58,5	NieZn ferrite powder 2%, 3%, 4%, dan 5%
4	<i>Experimental study of the performance of porous ultra-thin asphalt overlay</i>	Wei Jiang, et al.	2020	61	Limestone powder
5	<i>Influence of high surface area hydrated lime on cracking performance of Open Graded Asphalt Mixtures</i>	Francesco Preti, et al.	2020	-	Calcium carbonate, calcium carbonate +hydrated lime and calcium carbonate + HSA hydrated lime
6	<i>Effect of inherent anisotropy on transverse permeability of porous functional asphalt mixtures</i>	Zuoqiang Liu, et al.	2020	-	Limestone
7	<i>Characteristics of waste tire rubber (WTR) and amorphous poly alpha olefin (APAO) compound modified porous asphalt mixtures</i>	Kezhen Yan, et al.	2020	69,7	Limestone
8	<i>Investigation on aggregate particles migration characteristics of porous asphalt concrete (PAC) during vibration compaction process</i>	Jianyou Huang, et al.	2020	80/100	Limestone powder
9	<i>Laboratory investigation on effects of solid waste filler on mechanical properties of porous asphalt mixture</i>	Yu Tian, et al.	2021	PG 82-28	Limestone powder dan three types of solid waste fillers (<i>fly ash</i> , <i>diatomite</i> , and <i>red mud</i>)
10	<i>Investigation of the adhesive and cohesive properties of asphalt, mastic, and mortar in porous asphalt mixtures</i>	Xiaowei Wang, et al.	2021	67	Limestone
11	<i>Laboratorial investigation on effects of microscopic void characteristics on properties of porous asphalt mixture</i>	Bochao Zhou, et al.	2021	74	Portland cement
12	<i>Selection of fibers to improve porous asphalt mixtures using multi-criteria analysis</i>	Anik Gupta, et al.	2021	50/70	Limestone
13	<i>Stability and permeability characteristics of porous asphalt pavement: an experimental case study</i>	Mohammad Nadeem Akhtar, et al.	2021	60/70	Cement, gypsum, stone dust
14	<i>Gradation optimization and strength mechanism of aggregate structure considering macroscopic and mesoscopic aggregate mechanical behaviour in porous asphalt mixture</i>	Jiaolong Ren, et al.	2021	80	Limestone
15	<i>Design and evaluation of high-luminance porous asphalt mixtures based on wasted glass for sponge city</i>	Bochao Zhou, et al.	2021	74	Portland cement
16	<i>Characterization of the interconnected pore and its relationship to the directional permeability of porous asphalt mixture</i>	Xiang Ma, et al.	2021	-	Limestone filler

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil *literature review* yang dilakukan dari tahun 2017 sampai tahun 2021 mengenai perkembangan aspal porus terlihat bahwa penggunaan bahan polimer dan filler sangat mempengaruhi dari kinerja dari campuran aspal porus. Masing-masing bahan menghasilkan efek kinerja yang berbeda-beda sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai efek penggunaan bahan karet dalam campuran aspal porus dikarenakan karet dapat dijadikan sebagai bahan substitusi aspal dan juga modifikasi aspal.

DAFTAR PUSTAKA

- Afonso, M. L., Dinis-Almeida, M., & Fael, C. S. (2017). Study of the porous asphalt performance with cellulosic fibres. *Construction and Building Materials*, 135, 104-111.
- Akhtar, M. N., Al-Shamrani, A. M., Jameel, M., Khan, N. A., Ibrahim, Z., & Akhtar, J. N. (2021). Stability and permeability characteristics of porous asphalt pavement: An experimental case study. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00591.
- Alber, S., Ressel, W., Liu, P., Hu, J., Wang, D., Oeser, M., ... & Steeb, H. (2018). Investigation of microstructure characteristics of porous asphalt with relevance to acoustic pavement performance. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 7(3), 199-207.
- Giuliani, F., Petrolo, D., Chiapponi, L., Zanini, A., & Longo, S. (2021). Advancement in measuring the hydraulic conductivity of porous asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 300, 124110.
- Gupta, A., Lastra-Gonzalez, P., Rodriguez-Hernandez, J., Gonzalez, M. G., & Castro-Fresno, D. (2021). Critical assessment of new polymer-modified bitumen for porous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 307, 124957.
- Gupta, A., Castro-Fresno, D., Lastra-Gonzalez, P., & Rodriguez-Hernandez, J. (2021). Selection of fibers to improve porous asphalt mixtures using multi-criteria analysis. *Construction and Building Materials*, 266, 121198.
- Hemida, A., & Abdelrahman, M. (2020). Monitoring separation tendency of partial asphalt replacement by crumb rubber modifier and guayule resin. *Construction and Building Materials*, 251, 118967.
- Hu, X., Dai, K., & Pan, P. (2019). Investigation of engineering properties and filtration characteristics of porous asphalt concrete containing activated carbon. *Journal of Cleaner Production*, 209, 1484-1493.
- Hu, M., Li, L., & Peng, F. (2019). Laboratory investigation of OGFC-5 porous asphalt ultra-thin wearing course. *Construction and Building Materials*, 219, 101-110.
- Huang, J., Pei, J., Li, Y., Yang, H., Li, R., Zhang, J., & Wen, Y. (2020). Investigation on aggregate particles migration characteristics of porous asphalt concrete (PAC) during vibration compaction process. *Construction and Building Materials*, 243, 118153.
- Jiang, W., Yuan, D., Shan, J., Ye, W., Lu, H., & Sha, A. (2022). Experimental study of the performance of porous ultra-thin asphalt overlay. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(6), 2049-2061.

- Jimmyanto, H., Arliansyah, J., Kadarsa, E., Rahman, H., & Rosidawani, R. (2023, April). Study of the Literature on Using Natural Rubber and Crumb Rubber as Modified Materials in Hot Asphalt Mixtures. In *Proceedings of the 3rd Sriwijaya International Conference on Environmental Issues, SRICOENV 2022, October 5th, 2022, Palembang, South Sumatera, Indonesia*.
- Kiselev, A., Zhang, H., & Liu, Z. (2021). The effect of two-phase mixing on the functional and mechanical properties of TPS/SBS-modified porous asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 270, 121841.
- Lastra-González, P., Calzada-Pérez, M. Á., Castro-Fresno, D., Vega-Zamanillo, Á., & Indacoechea-Vega, I. (2017). Porous asphalt mixture with alternative aggregates and crumb-rubber modified binder at reduced temperature. *Construction and Building Materials*, 150, 260-267.
- Liu, Z., Wang, X., Luo, S., Yang, X., & Li, Q. (2019). Asphalt mixture design for porous ultra-thin overlay. *Construction and Building Materials*, 217, 251-264.
- Liu, Z., Zhang, H., Gong, M., & Yu, L. (2020). Effect of inherent anisotropy on transverse permeability of porous functional asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 260, 119957.
- Luo, S., Yang, X., Zhong, K., & Yin, J. (2020). Open-graded asphalt concrete grouted by latex modified cement mortar. *Road Materials and Pavement Design*, 21(1), 61-77.
- Ma, X., Jiang, J., Zhao, Y., & Wang, H. (2021). Characterization of the interconnected pore and its relationship to the directional permeability of porous asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 269, 121233.
- Preti, F., Accardo, C., Gouveia, B. C. S., Romeo, E., & Tebaldi, G. (2021). Influence of high-surface-area hydrated lime on cracking performance of open-graded asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 22(11), 2654-2660.
- Qian, N., Wang, D., Li, D., & Shi, L. (2020). Three-dimensional mesoscopic permeability of porous asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 236, 117430.
- Ren, J., Xu, Y., Huang, J., Wang, Y., & Jia, Z. (2021). Gradation optimization and strength mechanism of aggregate structure considering macroscopic and mesoscopic aggregate mechanical behaviour in porous asphalt mixture. *Construction and Building materials*, 300, 124262.
- Sangiorgi, C., Eskandarsefat, S., Tataranni, P., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., & Dondi, G. (2017). A complete laboratory assessment of crumb rubber porous asphalt. *Construction and Building Materials*, 132, 500-507.
- Slebi-Acevedo, C. J., Lastra-González, P., Indacoechea-Vega, I., & Castro-Fresno, D. (2020). Laboratory assessment of porous asphalt mixtures reinforced with synthetic fibers. *Construction and Building Materials*, 234, 117224.
- Tabaković, A., O'Prey, D., McKenna, D., & Woodward, D. (2019). Microwave self-healing technology as airfield porous asphalt friction course repair and maintenance system. *Case Studies in Construction Materials*, 10, e00233.
- Tian, Y., Sun, L., Li, H., Zhang, H., Harvey, J., Yang, B., ... & Fu, K. (2021). Laboratory investigation on effects of solid waste filler on mechanical properties of porous asphalt mixture. *Construction and building materials*, 279, 122436.
- Wang, X., Ren, J., Gu, X., Li, N., Tian, Z., & Chen, H. (2021). Investigation of the adhesive and cohesive

- properties of asphalt, mastic, and mortar in porous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 276, 122255.
- Wang, Z., Xie, J., Gao, L., Liu, Y., & Tang, L. (2021). Three-dimensional characterization of air voids in porous asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 272, 121633.
- Xu, S., Liu, X., Tabaković, A., & Schlangen, E. (2020). A novel self-healing system: Towards a sustainable porous asphalt. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120815.
- Yan, K., Sun, H., You, L., & Wu, S. (2020). Characteristics of waste tire rubber (WTR) and amorphous poly alpha olefin (APAO) compound modified porous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 253, 119071.
- Yang, B., Li, H., Zhang, H., Xie, N., & Zhou, H. (2019). Laboratorial investigation on effects of microscopic void characteristics on properties of porous asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 213, 434-446.
- Zhang, H., Li, H., Zhang, Y., Wang, D., Harvey, J., & Wang, H. (2018). Performance enhancement of porous asphalt pavement using red mud as alternative filler. *Construction and building materials*, 160, 707-713.
- Zhang, K., Lim, J., Nassiri, S., Englund, K., & Li, H. (2019). Reuse of carbon fiber composite materials in porous hot mix asphalt to enhance strength and durability. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00260.
- Zhang, J., Huang, W., Hao, G., Yan, C., Lv, Q., & Cai, Q. (2021). Evaluation of open-grade friction course (OGFC) mixtures with high content SBS polymer modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 270, 121374.
- Zhang, K., Liu, Y., Nassiri, S., Li, H., & Englund, K. (2021). Performance evaluation of porous asphalt mixture enhanced with high dosages of cured carbon fiber composite materials. *Construction and Building Materials*, 274, 122066.
- Zhou, B., Zhang, J., Pei, J., Li, R., & Zhang, Z. (2021). Design and evaluation of high-luminance porous asphalt mixtures based on wasted glass for sponge city. *Construction and Building Materials*, 273, 121696.
- Zhu, X., Ye, F., Cai, Y., Birgisson, B., & Lee, K. (2019). Self-healing properties of ferrite-filled open-graded friction course (OGFC) asphalt mixture after moisture damage. *Journal of Cleaner Production*, 232, 518-530.