

ANALISIS KINERJA ASBUTON CAMPURAN ASPAL PORUS MENGGUNAKAN IRON OXIDE DENGAN VARIASI TUMBUKAN

Octaviana^{1*}, Muh. Chaerul¹, Sri Gusty¹

¹ Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Fajar, Makassar

*octaviana044@gmail.com

Abstrak: Asbuton memiliki kandungan bitumen dan mineral, bitumen berperan sebagai aspal dan mineral sebagai filler. Untuk mendukung kinerja Asbuton dibutuhkan bahan peremaja untuk mengeluarkan bitumen didalam Asbuton. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja aspal porus dengan variasi tumbukan 2x50, 2x65, 2x75 menggunakan Asbuton sebanyak 6%, limbah oli 2% sebagai bahan peremaja, dan penambahan iron oxide sebanyak 15% sebagai pengganti agregat halus. Benda uji dilakukan dengan pengujian cantabro dan permeabilitas berdasarkan 2 macam pengujian yaitu pengujian permeabilitas dan pengujian *cantabro* dilakukan dengan menggunakan alat *Los Angeles* dengan mengacu pada *Road Engineering Association Of Malaysia (REAM, 2008)*. Dari hasil penelitian didapatkan kinerja campuran aspal porus pada nilai kehilangan berat dengan pengujian cantabro, benda uji variasi jumlah tumbukan, tumbukan 50 dan tumbukan 55 tidak memenuhi spesifikasi dengan nilai 28,70% dan 20,32%. Sedangkan pada variasi jumlah tumbukan 65 dan 75 memenuhi spesifikasi dengan memperoleh nilai rata-rata 17,64% dan 15,67%. Semakin bertambah jumlah tumbukan semakin kecil nilai kehilangan berat yang diperoleh. Semakin tinggi jumlah tumbukan maka semakin kecil nilai permeabilitas yang diperoleh. Semua benda uji memenuhi spesifikasi yaitu 0,3 cm²/detik. Tumbukan 2x50 pada campuran aspal porus memiliki nilai permeabilitas terbaik yaitu 0,24 cm²/detik.

Kata kunci: REAM, Variasi jumlah tumbukan, *Iron Oxide*, Permeabilitas, Cantabro test

I. PENDAHULUAN

Terkait dengan pengembangan kualitas sistem transportasi, teknologi perkerasan jalan secara bertahap akan semakin berkembang dan mutakhir dalam hal kualitas dan mutu prasarana transportasi, teknologi perkerasan jalan yang saat ini dikembangkan salah satunya aspal porus. Aspal porus dirancang untuk lapis permukaan jalan yang memungkinkan air meresap bebas ke dalam perkerasan dan mengalirkannya ke saluran samping. Perkembangan selanjutnya menunjukkan bahwa aspal porus layak untuk meningkatkan kontak antara roda kendaraan dengan permukaan jalan dalam berbagai kondisi. Mengurangi percikan air di belakang roda kendaraan dan pengkabutan serta kesilauan akibat pantulan cahaya lampu kendaraan atau sinar matahari pada permukaan jalan. Aspal porus memiliki kekuatan lebih rendah dibandingkan dengan aspal konvensional sehingga diperlukan bahan campuran yang dapat meningkatkan nilai stabilitas dan kekuatannya dan sangat terkait dengan perilaku dan sifat-sifat campuran beraspal yang menggunakan gradasi agregat dengan jumlah fraksi kasar diatas 85% terhadap berat total campuran, sehingga struktur yang dihasilkan lebih terbuka dan berongga [1]. Dalam penelitiannya mengatakan lapisan aspal memiliki karakteristik campuran yaitu *stability*, durabilitas, fleksibilitas, tahanan geser (*skid resistance*), kedap air, kemudahan pekerjaan (*workability*), ketahanan kelelahan (*fatigue resistance*) [2]. Dalam pencampuran, jumlah tumbukan dalam pemadatan aspal sangat berpengaruh terhadap karakteristik lapisan aspal.

Aspal Buton adalah salah satu material yang dimiliki oleh Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai material infrastruktur jalan. Asbuton mengandung bitumen yang berasal dari pemisahan minyak bumi secara alamiah. Bitumen ini merupakan sisa dari minyak bumi yang memiliki berat jenis besar dan terperangkap pada reservoir batuan [3]. Fungsi Asbuton pada campuran tersebut adalah sebagai bahan tambah (*additive*) dan sebagai bahan substitusi aspal minyak. Untuk mendukung kinerja asbuton dibutuhkan bahan penambah, penelitian tentang oli bekas sebagai bahan adiktif pada Asbuton Lawele sebanyak 2% dan 3%, dengan

hasil penggunaan oli bekas diharapkan dapat mengurangi jumlah limbah B3 yang ada di Indonesia [4].

Selain asbuton, serbuk besi juga diharapkan dapat membantu kekuatan aspal porus itu sendiri, Iron oxida pada penelitian ini berperan sebagai substitusi agregat halus pada campuran aspal porus. Besi memiliki banyak keunggulan dan dapat diolah menjadi berbagai barang yang bisa digunakan di kehidupan sehari-hari dan juga di dunia konstruksi bentukan senyawa besi oksida tersebut sebagai proses alam yang telah terjadi selama bertahun-tahun. Kandungan senyawa besi di bumi ini mencapai 5% dari seluruh kerak bumi ini [5]. Limbah bubut dengan kandungan logam berat dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika dibuang secara langsung ke lingkungan tanpa diolah kembali. Limbah tersebut merupakan bahan potensial yang dapat dimanfaatkan karena kandungan utamanya yang sebagian besar merupakan unsur besi [6].

Penelitian serbuk besi dalam campuran aspal campuran panas dianjurkan untuk ditingkatkan kinerja campuran aspal [7]. Penelitian dilakukan dengan presentasi iron oxide variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% pada pengujian marshall dan cantabro. Hasil pengujian Cantabro untuk memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu maksimal 20% kehilangan berat. Persentase kehilangan berat terkecil pada substitusi Iron Oxide 15%. Sehingga dapat dikatakan bahwa campuran juga, perlu untuk membuat sektor eksperimental untuk menjamin stabilitas campuran dari waktu ke waktu [8]. Penelitian tentang pengaruh jumlah tumbukan dengan campuran aspal porus yang menggunakan limbah oli sebagai peremaja, dengan hasil pengujian tumbukan 2x50, dan 2x55 memenuhi spesifikasi REAM pengujian pada cantbro test [9]. Pemadatan adalah proses yang mana partikel-partikel solid dirapatkan secara mekanis sehingga volume rongga dalam campuran mengecil dan kepadatan campuran meningkat dan mengatur distribusi partikel agregat dalam campuran sehingga menghasilkan konfigurasi agregat optimum dalam mencapai kepadatan yang ditargetkan [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis tertarik untuk meneliti aspal porus menggunakan Asbuton dan iron oxide dengan variasi tumbukan, dimana tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kinerja asbuton sebagai substitusi aspal minyak dan iron oxide sebagai substitusi agregat halus untuk pengujian permeabilitas dan cantabro.

II. METODOLOGI

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah eksperimen yang dilakukan pada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar. Sebelum memulai pembuatan benda uji tahap awal yang harus dipersiapkan yaitu penyiapan alat dan bahan. Alat yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain mesin los angeles, saringan, timbangan, oven, alat uji berat jenis, bak perendam. Karakteristik campuran aspal porus tidak hanya dipengaruhi oleh persentase agregat tetapi dipengaruhi juga oleh karakteristik agregat [11]. Bahan-bahan yang digunakan dalam campuran aspal porus terlebih dahulu diuji kinerja dari masing-masing bahan agregat kasar, agregat halus dan memeriksa mutu bahan aspal dan mutu agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran beraspal. Setelah agregat memenuhi spesifikasi SNI, dilanjutkan dengan perhitungan mix design dengan menggunakan gradasi spesifikasi REAM 2008. Adapun tahap pembuatan benda uji

1. Asbuton diperam dengan oli selama 24 jam
2. Agregat dipanaskan sampai pada temperature 160 °C, bersama dengan serbuk besi sebanyak 15%.
3. Asbuton butir ditambahkan kedalam campuran agregat dan serbuk besi lalu diaduk secara merata.
4. Setelah itu campuran disimpan sampai pada temperature 90°C untuk selanjutnya dipadatkan.
5. Setelah itu dilakukan tumbukan dengan variasi 2x50, 2x65 dan 2x75.

Untuk jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Pengujian Dan Jumlah Benda Uji

Variasi Tumbukan	Pengujian permeabilitas	Pengujian Cantabro
50	3	3
65	3	3
75	3	3
jumlah	9	9
Total	18	

Dalam penelitian ini pengetasan benda uji aspal porus digunakan 2 macam pengujian yaitu:

1. Pengujian permeabilitas mengacu pada *Road Engineering Association Of Malaysia (REAM, 2008)*.
2. Pengujian *cantabro* dilakukan dengan menggunakan alat *Los Angeles* dengan mengacu pada *Road Engineering Association Of Malaysia (REAM, 2008)*.

Setelah melakukan pengujian dilakukan analisis hubungan antara tumbukan dengan uji permeabilitas dan uji cantabro.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

Aspal porus salah satu terobosan atau perbaikan penting di bidang perkerasan jalan, aspal porus memungkinkan air dapat mengalir kedalam lapisan aspal melalui rongga pada setiap lapisannya, sehingga permukaan jalan bebas dari genangan air, serta kemungkinan terjadinya kecelakaan akibat jalan yang licin dapat berkurang [12]. Keunggulan lainnya adalah meningkatnya keselamatan pengguna jalan yang biasanya terjadi akibat silau dan kebisingan yang terjadi dari aktivitas lalu lintas dikarenakan aspal porus dapat mengurangi silau (menyerap cahaya) dan mengurangi kebisingan akibat lalu lintas .

Tabel 2. Mix Disgn Aspal Porus

Saringan No.	Bukaan (mm)	Spek Gradasi		% Lolos	% Tertahan	Total (gr)
		Min	Max			
3/4"	19.00	100	100	100.00	0.00	0.00
1/2"	12.50	85	100	86.40	13.60	163.20
3/8"	9.50	55	75	56.23	30.18	362.10
4	4.75	10	25	15.00	41.23	494.70
8	2.36	5	10	9.83	5.18	62.10
200	0.075	2	4	2.08	7.75	54.60
PAN	S. Besi	0	0	0.00	0.00	9.64
	BGA	0	0	0.00	2.08	53.66
	Filler					-28.76
Berat Total Agregat					100.00	1200
Oli						24
Aspal Pen 60/70						53.66
Total (Agregat + Aspal + Bga)						1277.66

Sumber : Hasil Uji Lab, 2021

Campuran Aspal Porus menggunakan gradasi terbuka karena Aspal Porus diharapkan dapat berfungsi sebagai drainase, anti slip, anti aquaplaning dan peredam kebisingan yang hanya dapat diperoleh melalui penggunaan gradasi terbuka [13] atau aspal porus adalah campuran aspal dengan kadar pasir yang rendah untuk mendapatkan ruang pori yang tinggi. Dengan adanya ruang pori yang tinggi diharapkan dapat meresapkan air. Jenis perkerasan aspal porus merupakan teknik pelapisan jalan yang sangat inovatif, karena mudah meloloskan air masuk kedalam perkerasan secara horisontal melalui pori-pori udara kapiler atau dengan menggunakan saluran samping dan lapisan perkerasannya sebagai sistem drainase. Dilakukan uji gradasi terhadap standar gradasi Aspal Porus sehingga dapat diyakini bahwa gradasi

tersebut telah memenuhi standar perencanaan untuk Aspal Porus. Lapisan ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) yang dihamparkan di atas lapisan aspal yang kedap air, dan secara efektif dapat memberikan tingkat keselamatan yang lebih terutama di waktu hujan agar tidak terjadi aquaplaning sehingga menghasilkan kekesatan permukaan yang lebih kasar dan dapat mengurangi kebisingan (*noise reduction*). Aspal porus merupakan lapisan keausan tujuan khusus yang digunakan di daerah yang membutuhkan drainase permukaan yang lebih baik dan ketahanan selip. Aspal berpori diproduksi dengan menggunakan agregat bergradasi terbuka yang dicampur dengan pengikat yang dimodifikasi polimer yang mengandung rongga udara 20 hingga 25% setelah pemadatan [14].

Pengujian sifat fisik agregat yang digunakan dalam penelitian ini, secara keseluruhan memenuhi standar yang diisyaratkan dalam pengujian mutu agregat. Agregat kasar yang digunakan adalah agregat yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm) dan agregat halus yang digunakan adalah agregat yang lolos pada saringan No. 8 dan tertahan pada saringan No. 200 yang berasal dari perusahaan pemecah batu yang terletak di Bili-bili.

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan jalan. Gradasi agregat mempengaruhi ukuran rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Dalam penelitian ini penentuan gradasi campuran dan *mix design* dilakukan dengan *system trial gradation* yang mengacu pada standar gradasi terbuka disarankan pada REAM (*Road Engineering Association Of Malaysia*). Perbandingan persentase yang digunakan dari masing-masing agregat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu agregat kasar (85%) : agregat halus (5%) : *filler* (10%) setelah itu Analisa saringan agregat yang telah dilakukan dikalikan dengan nilai persen lolos.

III.1. Pengujian Permeabilitas

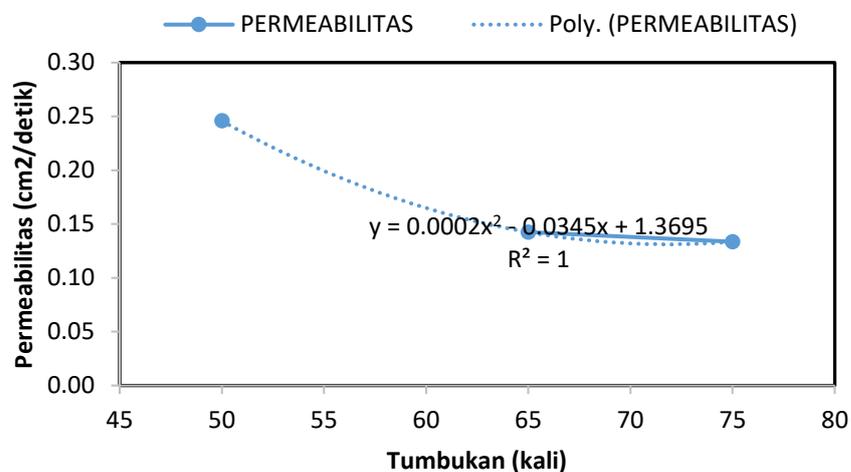
Uji permeabilitas merupakan perbandingan antara banyaknya air yang dapat dialirkan dalam setiap detiknya. Bila nilai permeabilitas semakin rendah menunjukkan semakin kecilnya rongga udara dalam campuran, sehingga campuran tidak bersifat porus, demikian sebaliknya. Hal ini sesuai dengan penelitian campuran aspal porus menggunakan Asbuton dengan limbah plastik semakin tinggi nilai permeabilitas menunjukkan semakin cepat aliran air [15]. Kapasitas drainase aspal porus sangat tergantung dari kadar dan jenis rongga yang terbentuk setelah penghamparan dan pemadatan di lapangan dan kecilnya nilai permeabilitas sangat dipengaruhi oleh distribusi dan gradasi agregat yang akan membuat campuran lebih padat [16]. Pemeriksaan permeabilitas pada benda uji dilakukan dengan menggunakan alat uji permeabilitas tipe *constant head permeability* (CHP). Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel.3. Pengujian Permeabilitas

Jumlah tumbukan	volume air tertampung (Q)	tinggi benda uji (L)	beda tinggi (h)	luas benda uji (A)	waktu pengaliran(t)	Q.L	h.A.t	Koefisien (QL/hAt)
50	300	8.2	60	10	16.71	2460	10026	0.245
	300	8.2	60	10	16.73	2460	10038	0.245
	300	8.2	60	10	16.71	2460	10026	0.245
				Rata-rata				0.245
65	300	8.2	60	10	28.80	2460	17280	0.142
	300	8.2	60	10	29.00	2460	17400	0.141
	300	8.2	60	10	28.77	2460	17262	0.143
				Rata-rata				0.142
75	300	8	60	10	29.94	2400	17964	0.134
	300	8	60	10	29.97	2400	17982	0.133
	300	8	60	10	29.98	2400	17988	0.133
				Rata-rata				0.133

Sumber : Hasil Uji Lab, 2021

Berdasarkan penelitian studi penggunaan Asbuton terhadap nilai permeabilitas mengasilkan Asbuton pada campuran aspal porus berpengaruh terhadap nilai koefisien permeabilitas[17]. Permeabilitas dilakukan untuk mengetahui seberapa air dapat melewati rongga yang ada pada campuran aspal porus agar dapat mencegah terjadinya *aqua planning* sehingga menghasilkan permukaan yang memiliki tingkat kekesatan yang lebih tinggi dan dapat mengurangi kebisingan [13]. Adanya pengisi rongga pori menyebabkan berkurangnya nilai permeabilitas dan kecepatan resapan akibat terisinya rongga pori dalam aspal porus, dimana semakin banyaknya rongga pori yang terisi oleh material penyumbat (tanah dan pasir), menyebabkan porositas berkurang dan kemampuan aspal porus untuk meloloskan air kebawah [14]. Pengujian permeabilitas dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan perkerasan aspal porus untuk mengalirkan air. Pengujian dilakukan pada benda uji Wheel Tracking untuk mengetahui permeabilitas masing-masing benda uji tersebut. Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan benda uji meresapkan air melalui rongga-rongga pada campuran aspal porus.



Gambar 1. Grafik Hubungan Antara Nilai Permeabilitas Dengan Jumlah Tumbukan

Hasil pengujian memperlihatkan terjadinya penurunan nilai permeabilitas dengan variasi nilai 0,24 cm/dtk, 0,14 cm/dtk, 0,13 cm/dtk, pada jumlah tumbukan, 50; 65 dan 75 pada campuran aspal porus menggunakan Asbuton 6% dan Iron oxide 15%. Permeabilitas dilakukan untuk mengetahui seberapa air dapat melewati rongga yang ada pada campuran aspal porus agar dapat mencegah terjadinya *aqua planning* sehingga menghasilkan permukaan yang memiliki tingkat kekesatan yang lebih tinggi dan dapat mengurangi kebisingan [15].

Hasil pengujian permeabilitas menyatakan bahwa jumlah tumbukan pada campuran aspal porus berpengaruh terhadap nilai permeabilitas dengan penurunan nilai permeabilitas pada benda uji seiring dengan peningkatan jumlah tumbukan terhadap nilai permeabilitas, diperjelas dengan grafik hubungan antara nilai permeabilitas dengan jumlah tumbukan yang ditunjukkan dengan Gambar.1. Pelapukan terjadi pada Asbuton yang mengalami pemanasan mengakibatkan terpisahnya mineral dan butimen.

III.2. Pengujian Cantabro

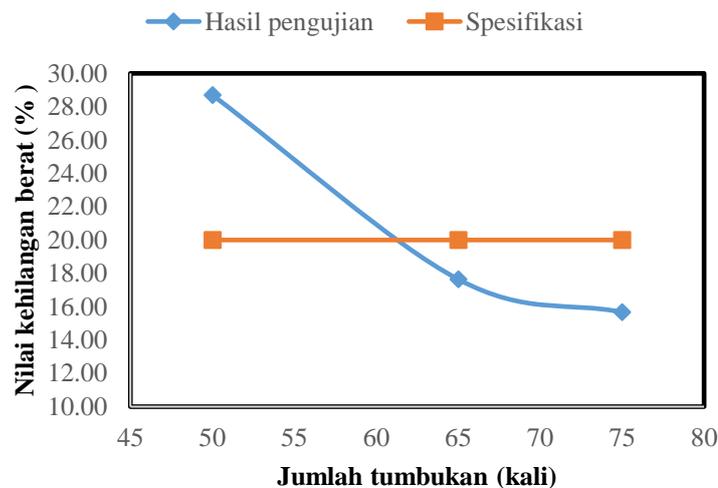
Cantabro test adalah salah satu test di laboratorium untuk mengetahui besarnya batas kekuatan hancur/keausan akibat pengaruh impact (tumbukan/pembebanan) beban roda lalu lintas pada lapis perkerasan [16]. Cantabro yang didefinisikan sebagai presentase kehilangan berat setelah dilakukan 300 kali putaran sehubungan dengan berat awal benda uji [17]. Makin kecil kehilangan berat yang terjadi pada benda uji berarti makin tahan benda uji tersebut, hasil dapat dilihat pada Tabel.4.

Tabel 5. Hasil Pengujian Cantabro

Sampl e	Jumlah tumbuka n	Berat Sebelum Pengujia n (Mo) Kg	Berat Setelah Pengujia n (Mi) Kg	Kehilanga n Berat Kg	Rata-Rata Kehilangan Berat		Spesifikas i
					Mo-Mi	$\frac{(Mo-Mi)}{Mo} \times 100$	
No	%					%	
1	50	1193	844	349		29.25	Max 20
2	50	1203	729	474		39.40	
3	50	1204	994	210		17.44	
		Rata-Rata		344		28.70	
1	65	1185	933	252		21.27	Max 20
2	65	1200	940	260		21.67	
3	65	1200	1080	120		10.00	
		Rata-Rata		211		17.64	
1	75	1200	1017	183		15.25	Max 20
2	75	1194	1022	172		14.41	
3	75	1216	1005	211		17.35	
		Rata-Rata		189		15.67	

Sumber : Hasil Uji Lab, 2021

Proses pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan campuran untuk menahan akibat pembebanan oleh beban roda kendaraan, pembebanan yang berulang-ulang akan menyebabkan lapisan tersebut terjadi penurunan kekuatan [8]. Dari hasil pengujian, berdasarkan spesifikasi yang telah disyaratkan oleh (REAM, 2008) bahwa batas nilai kehilangan berat (cantabro) yang dapat terjadi dari campuran aspal porus adalah tidak boleh lebih dari 20%. Terlihat pada Gambar 2 Nilai rata rata kehilangan berat benda uji tumbukan seiring bertambahnya jumlah tumbukan, jumlah kehilangan berat pada benda uji semakin kecil, kehilangan berat terbesar yaitu tumbukan 50 dengan nilai 28,70% dan terkecil yaitu tumbukan 75 dengan nilai 15,67%.



Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Cantabro

Dengan penambahan Iron Oxide dapat mengurangi nilai kelihan pada pengujian cantabro. Penelitian menggunakan Asbuton dan variasi tumbukan yang sama tanpa penambahan Iron oxide dengan hasil semakin bertambah nilai tumbukannya nilai kehilangan semakin tinggi [9]. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya jumlah tumbukan dengan penambahan iron oxide nilai kehilangan berat semakin kecil.

IV. KESIMPULAN

Kinerja campuran aspal porus pada nilai kehilangan berat dengan pengujian cantabro, benda uji variasi jumlah tumbukan, tumbukan 50 tidak memenuhi spesifikasi (20%) dengan nilai 28,70% . Sedangkan pada variasi jumlah tumbukan 65 dan 75 memenuhi spesifikasi dengan memperoleh nilai rata-rata 17,64% dan 15,67%. Semakin bertambah jumlah tumbukan semakin kecil nilai kehilangan berat yang diperoleh. Penurunan nilai permeabilitas pada benda uji terhadap variasi jumlah tumbukan berpengaruh terhadap nilai permeabilitas yang dimana semakin tinggi jumlah tumbukan maka semakin kecil nilai permeabilitas yang diperoleh. Semua benda uji memenuhi spesifikasi yaitu 0,3 cm²/ detik. Dari hasil pengujian tumbukan 2x50 memiliki nilai permeabilitas terbaik yaitu 0,24 cm²/detik.

REFERENSI

- [1] S. Gusty, M. W. Tjaronge, N. Ali, And R. Djamaluddin, "Pengaruh Penambahan Buton Granural Asphalt Pada Campuran Aspal Berongga Campuran Panas Hampar Dingin Terhadap Stabilitas Marshall," Konferensi Nasional Teknik Sipil Dan Perencanaan (Kn-Tsp, Feb. 2017.
- [2] Sitomorang A, Variasi Jumlah Tumbukan Terhadap Uji Karakteristik Marshall Untuk Campuran Laston (Ac-Bc). Fakultas Teknik, 2015.
- [3] Rencana Strategis (Renstra),” 2019.
- [4] M. Sanam, R. F. Litelnoni, Y. M. Punuf, And A. Suraji, "Penggunaan Asbuton Lawele Dengan Bahan Additif Oli Bekas Kendaraan Untuk Meningkatkan Stabilitas Beton Aspal," Widya Teknika, Vol. 21, No. 2, Dec. 2016, Doi: 10.31328/Jwt.V21i2.88.
- [5] S. Bahri, "Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas," Jurnal Inersia Oktober, Vol. 9, No. 2, P. 39, 2017.
- [6] F. A. Khalamudillah, D. Suhendar, And A. Supriadin, "Sintesis Dan Karakterisasi Pigmen Merah Besi(iii) Oksida Dari Serbuk Besi Limbah Bubut Logam," Garba Rujukan Digital, Vol. 4, No. 1, 2017.
- [7] M. S. Eisa, "Improving Asphalt Mix Properties Using Iron Filings As Mineral Filler," Cairo, Dec. 2018.
- [8] Rapa' W, "Pengaruh Substitusi Iron Oxide Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Berongga," Universitas Fajar Makassar, 2020.
- [9] Octaviana, "Studi Eksperimental Jumlah Tumbukan Pada Campuran Aspal Porus Yang Menggunakan Limbah Oli Sebagai Peremaja," Makassar, 2019.
- [10] K. S. Panungkelan, O. H. Kaseke, And M. M. Manoppo, "Pengaruh Jumlah Tumbukan Pemadatan Benda Uji Terhadap Besaran Marshall Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus Jenis Asphalt Concrete (Ac)," Jurnal Sipil Statik, Vol. 5, No. 8, Oct. 2017 [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/17641>
- [11] H. Arief And S. Mashuri, "Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Agregat Dari Loli Dan Taipa," 2014.
- [12] N. T. Sembung Et Al., "Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon," Jurnal Sipil Statik, Vol. 8, No. 3, Pp. 345–352.
- [13] Q. Ayun And A. Prastyanto, "Analisis Pengaruh Variasi Gradasi Aspal Porus Terhadap Parameter Marshall Dan Permeabilitas," 2021.
- [14] *Road Engineering Association Of Malaysia* Ream | Course Hero." <https://www.coursehero.com/file/P7f35fd8/Aspal-Porus-A-Pengertian-Menurut-Road-Engineering-Association-Of-Malaysia-Ream/>
- [15] Hisbullah, "Pengaruh Substitusi Limbah Plastik Terhadap Kinerja Campuran Aspal Berongga Yang Menggunakan Asbuton Sebagai Pengikat," 2020.
- [16] Marizka Eza, "Studi Kinerja Campuran Aspal Porus Dengan Penambahan Bahan Additive Rediset Lq-1106," 2021.

- [17] D. Januario, “Studi Penggunaan Asbuton Pada Campuran Aspal Porus Terhadap Nilai Permeabilitas.”
- [18] Arfan. H. J. M. Ali.N, “Studi Permeabilitas Campuran Aspal Berpori Berbasis Aspal Buton (Asbuton),” Seminar Nasional Iii Teknik Sipil, Pp. 239–245, 2013.
- [19] B. Yhudianto, A. Setyawan, And Suryanto, “Pengaruh Pengisian Rongga Pada Perkerasan Aspal Porus Terhadap Kecepatan Resapan, Permeabilitas, Dan Skid Resistance,” Matriks Teknik Sipil, Pp. 1162–1169, 2017.
- [20] N. Ali, H. Arfan, J. Patanduk, And M. Hustim, “Studi Permeabilitas Campuran Aspal Berpori Berbasis Aspal Buton (Asbuton)”.
- [21] Mashuri, F. Astuti, And J. F. Batti, “*Short Term Aging And Durability Of Hot Rolled Sheet Wearing Course (Hrs-Wc) Using Roadcel-50 Mashuri,*” 2014.
- [22] L. S. Tjemma And B. L. Suparma, “Pengaruh Proses Penuaan Dan Rendaman Air Banjir Terhadap Durabilitas Campuran Ac-Wc Dengan Bahan Perekat Aspal Penetrasi 60/70 Berdasarkan Uji Cantabro,” 2017. [Http://Etd.Repository.Ugm.Ac.Id/penelitian/Detail/128334](http://Etd.Repository.Ugm.Ac.Id/penelitian/Detail/128334)