*Research Article*

EVALUASI AGREGAT LOKAL SEBAGAI LAPISAN BASE PERKERASAN PERMEABEL

Hendra Oktariza^{1,2)} dan Nurly Gofar^{2*)}¹⁾ Sekretariat Daerah Kabupaten Musi Banyu Asin, Sekayu, Indonesia²⁾ Program Studi Magister Teknik Sipil, Pascasarjana Universitas Bina Darma, Palembang, Indonesia

Received: 11 February 2023, Accepted: 6 March 2023, Published: 12 July 2023

Abstract

Permeable pavement is a type of road pavement that allows stormwater to infiltrate through the pavement surface and the underlying base layer to reduce surface runoff. Open-graded aggregates are often used as the base layers to temporarily store water and allow the water to infiltrate slowly into the soil below the pavement or through sub-drainage. The strength of open graded material is usually less than the dense-graded materials. Therefore; the mixture of the aggregate for both base and drainage layer need to be designed carefully. In Indonesia, the criteria for aggregate as both base and drainage layer is stipulated in Bina Marga Specification. This study aims at designing an optimum mixture of local aggregate to be used as the base of permeable pavement. The mixture should fulfil the mechanical properties based on laboratory CBR value, and hydraulic properties based on storage capacity and the coefficient of permeability. Five aggregate samples of Andesite origin from South Lampung area were selected for this study. Careful laboratory test procedures were adopted to select configurations of aggregate sizes (design mix formula) that satisfies the requirements both as Aggregate A and as drainage layer. A dense graded aggregate based on the grain size distribution was prepared for design mix formula to meet the requirement as Aggregate A. Then, the fine particles passing No 40 sieve was removed to form open aggregate sample suitable as drainage layer. Both samples were tested for grain size distribution, CBR, permeability and storage capacity. Results show that the local aggregate fulfils the requirements both as base and as drainage layer with average CBR of 92%, average storage capacity of 18.32% and average permeability of 0.05 m/sec. The thickness of the permeable pavement layer could be estimated based on storage capacity and the permeability of the drainage layer.

Key Words: Base layer, constant head test, laboratory CBR test, local aggregate, porous pavement.

1. PENDAHULUAN

Genangan atau limpasan permukaan adalah masalah yang sering terjadi di ruas-ruas jalan di kota Palembang, terutama pada saat musim hujan. Genangan disebabkan oleh berbagai hal, diantaranya curah hujan yang tinggi, permukaan air sungai yang tinggi pada saat pasang naik, kapasitas tanah yang sudah tidak mampu lagi menyerap air, dan sistem drainase yang kurang memadai (Sebastian, 2008). Saat terjadi hujan, genangan mengganggu aktivitas jalan karena air di permukaan jalan terhambat masuk kedalam saluran drainase. Bila genangan terjadi dalam waktu yang lama, maka dapat menimbulkan kerusakan jalan. Penelitian oleh Fardyansah dan Gofar (2020) menyimpulkan bahwa adanya genangan dapat menurunkan nilai CBR subgrade dari 8% menjadi 2%. Oleh karena itu perlu dibuat sistem drainase untuk mempertahankan kualitas jalan. Menurut AASHTO (2004) kualitas drainase jalan dikatakan sangat baik (*excellent*)

apabila genangan dapat disingkirkan dalam waktu kurang dari 2 jam dan dikatakan baik (*good*) bila genangan hilang dalam waktu kurang dari satu hari.

Beberapa metode alternatif telah digunakan untuk mengurangi limpasan permukaan dan waktu genangan. Metode yang umum digunakan adalah dengan sistem drainase permukaan dan gorong gorong (Syarifudin, 2018), namun sejalan dengan perkembangan teknologi ada beberapa metode alternatif yang ditawarkan. Salah satu metode alternatif adalah konsep perkerasan permeabel (Brattebo & Booth, 2003). Perkerasan permeabel adalah perkerasan yang direncanakan dengan menggunakan bahan material yang mampu menangkap curah hujan dan limpasan permukaan, menyimpannya dalam *reservoir* sambil perlahan lahan membiarkannya meresap kedalam tanah di bawahnya atau mengalirkan air tersebut ke saluran drainase.

Konsep perkerasan permeabel ditemukan pada tahun 1968 di Amerika Serikat, selanjutnya, dikembangkan dan telah banyak dipakai di beberapa negara di Amerika, Eropa, Jepang, dll. Di Indonesia, konsep perkerasan permeabel di adopsi dalam disain pekerasan kaku. Berdasarkan Manual Perkerasan Jalan (Dit Jend Bina Marga, 2018), perkerasan jalan terdiri dari lapisan permukaan (*surface/wearing course*), lapisan fondasi (*base*) serta lapisan tanah dasar (*subbase dan subgrade*). Gambar 1 memperlihatkan susunan lapisan perkerasan di atas tanah asli untuk jenis perkerasan kaku.



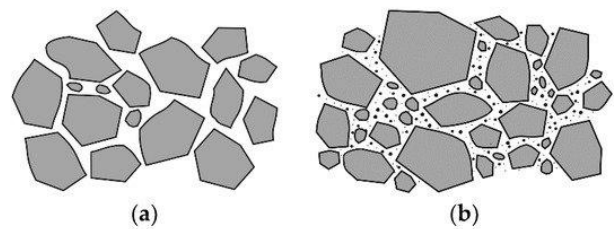
Gambar 1. Tipikal potongan lapis perkerasan kaku di atas permukaan tanah asli (*at grade*) (Sumber : Dit Jend Bina Marga, 2018).

Dalam sistem perkerasan permeabel, lapisan permukaan (disebut perkerasan berpori atau *porous pavement*) mempunyai sifat mengalirkan air hujan secara cepat ke lapisan base. Dalam hal ini lapisan permukaan terdiri dari perkerasan beton yang bersifat *segmental* di atas lapisan binder atau lapisan fondasi beton kurus. Lapisan base berfungsi sebagai lapisan fondasi yang memenuhi persyaratan sebagai Agregat Kelas A dan juga berfungsi sebagai lapis drainase. Pada umumnya, pemenuhan ke dua persyaratan ini menghadapi beberapa kendala. Sebagai pondasi, susunan agregat harus padat sehingga memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban jalan ($CBR > 90\%$). Sedangkan pada lapisan drainase, harus terdapat ruang kosong yang dibentuk oleh susunan material untuk menyimpan sementara air yang masuk melalui lapisan permukaan. Dengan demikian, limpasan air hujan yang dihasilkan lebih sedikit dari pada perkerasan konvensional dan waktu genangan dapat dikurangi.

Gambar 2 memperlihatkan perbandingan susunan agregat bergradasi padat dan terbuka. Agregat bergradasi terbuka umumnya mempunyai nilai CBR lebih rendah daripada agregat padat. Namun hasil penelitian oleh Yideti et al (2014) menunjukkan bahwa agregat bergradasi terbuka dengan CBR lebih tinggi dari 60% dapat berfungsi optimum sebagai base dan subbase material sekaligus sebagai lapisan drainase.

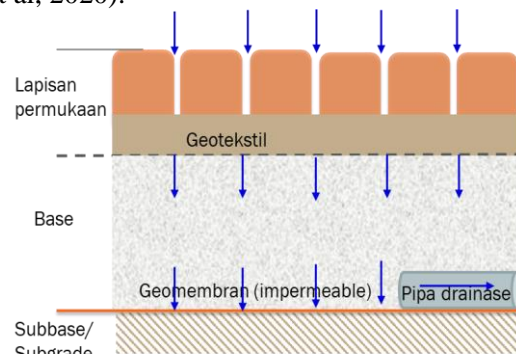
Lapisan drainase harus mampu menampung dan menyimpan limpahan air hujan tersebut sampai

meresap ke tanah atau dialirkan ke saluran drainase sehingga harus memiliki permeabilitas yang tinggi. Penelitian oleh Fassman & Blackbourn (2010) menunjukkan bahwa jenis perkerasan permeabel efektif digunakan bahkan pada jalan di atas tanah yang mempunyai permeabilitas sangat rendah. Selain manfaat mengurangi limpasan permukaan dan memperpanjang umur perkerasan jalan, sistem perkerasan permeabel juga mempunyai manfaat mempertahankan air tanah dan daur ulang air hujan serta, dengan menambahkan lapisan geomembran, sistem ini juga bermanfaat untuk pencegahan polusi (Scholz & Grabowiecki, 2007).



Gambar 2. Definisi (a) Agregat bergradasi terbuka dan (b) Agregat bergradasi padat (Sumber : Choi dkk. 2018)

Konsep lapisan perkerasan permeabel diperlihatkan pada Gambar 3. Jenis perkerasan ini umum digunakan untuk jalan dengan volume rendah seperti tempat parkir, jalur sepeda, trotoar, taman bermain, lapangan tenis, dan jalan lain yang menahan beban yang tidak terlalu besar (Sembung et al, 2020).



Gambar 3. Konsep perkerasan permeabel

Seperti diperlihatkan pada Gambar 3, sistem perkerasan permeabel terdiri dari dua komponen yaitu lapisan permukaan yang berpori (*porous pavement*) dan bagian struktural yang menahan beban dan juga menampung air untuk sementara (lapisan *base*). Banyak jenis lapisan permukaan yang digunakan sebagai perkerasan berpori (Scholz & Grabowiecki, 2007) antara lain konblok, *paving block*, *interlocking concrete pavement*, *porous asphalt*, *porous concrete* dll. Sedangkan untuk lapisan *base* biasanya terbuat dari agregat, susunan beton, batu kali, dan beberapa produk yang dibuat dari bahan bahan polimer seperti *structural cell*

(Rahardjo et al., 2016) dll. Lapisan base yang dibuat dari susunan agregat harus memenuhi kriteria sifat mekanis dan hidraulik sehingga mempunyai kekuatan daya dukung dan sekaligus permeabilitas yang cukup untuk menampung dan mengalirkan air. Kriteria ini diberikan pada spesifikasi umum Dit Jend Bina Marga (2018)

Untuk mencapai spesifikasi sebagai Agregat A, maka dilakukan proses pemadatan. Proses pemadatan dapat menyebabkan peningkatan kandungan butir halus sehingga deformasi dan permeabilitas menurun, namun dalam waktu yang sama meningkatkan modulus dan kekuatan (Celtin dkk, 2014). Penelitian laboratorium terhadap agregat bergradasi terbuka yang mereka lakukan menunjukkan bahwa pemadatan dengan cara pukulan lebih baik daripada pemadatan dengan getaran.

Penelitian penilaian pemadatan lapangan bahan dasar agregat untuk perkerasan permeabel pernah dilakukan oleh Choi dkk (2018) yaitu berdasarkan pengujian pelat beban (*plate load test*). Pengujian pelat beban dilakukan terhadap hamparan agregat bergradasi terbuka dengan variasi ukuran yang dipadatkan dengan *vibratory roller* kapasitas 10 ton sebanyak 12 lintasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa agregat bergradasi terbuka yang dipadatkan lebih sesuai sebagai bahan untuk pondasi perkerasan permeabel dibandingkan bahan agregat padat.

Penelitian ini difokuskan kepada pemilihan susunan agregat untuk mendapatkan *design mix formula* (DMF) yang memenuhi kriteria Dit Jend Bina Marga (2018) sebagai Agregat A sekaligus juga sebagai Lapis Drainase. Agregat lokal yang digunakan dalam penelitian ini merupakan agregat yang umum digunakan dalam pembangunan beberapa segmen jalan tol di Sumatra Selatan. Agregat berasal dari batuan Andesit yang terdapat di Lampung Selatan. Dalam hal ini dipilih lima (5) sampel agregat lokal untuk diuji kesesuaian sebagai agregat kelas A dan sebagai lapisan drainase berdasarkan uji CBR dan permeabilitas serta perhitungan ruang kosong atau *storage capacity*.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu pengujian laboratorium yang dilakukan mengikuti prosedur pengujian Standar Nasional Indonesia (SNI) dan ASTM. Bahan yang diteliti adalah agregat andesit yang berasal dari lima (5) lokasi proyek jalan Tol di Sumatera Selatan. Agregat didapatkan dari kuari di Lampung Selatan. Penelitian dimulai dengan melakukan perbandingan sifat agregat yang digunakan, apakah memenuhi spesifikasi Bina Marga (2018) sebagai Agregat A maupun Lapis drainase seperti diperlihatkan pada

Tabel 1 dan Tabel 2. Pada tabel ini, Agregat kelas A digunakan untuk lapisan pondasi atas dengan nilai CBR minimum 90%, sedangkan Agregat kelas B digunakan untuk lapisan pondasi bawah dengan nilai CBR minimum 60%. Agregat kelas S digunakan untuk bahu jalan tanpa lapisan penutup dengan nilai CBR minimum 50%.

Tabel 1. Spesifikasi Bina Marga untuk Sifat sifat Lapis Fondasi dan Lapis Drainase

Sifat – Sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 – 40%	0 – 40%	0 – 40%	0 – 40%
Butiran pecah, tertahan ayakan No. 4 (SNI 7619:2012)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	80/75 ³⁾
Batas cair (SNI 1967:2008)	0-25	0-35	0-35	-
Indeks Plastisitas (SNI 1966:2008)	0-6	4-10	4-15	-
Hasil kali indeks Plastisitas dengan % lolos ayakan No.200	Maks. 25	-	-	-
Gumpalan lempung dan butiran – butiran mudah pecah (SNI 4141 : 2015)	0-5%	0-5%	0-5%	0-5%
CBR rendaman (SNI 1744:2012)	Min.90%	Min.60%	Min.50%	-
Perbandingan persen lolos ayakan No.200 dan No.40	Maks.2/3	Maks.2/3	-	-
Koefisien keseragaman :	-	-	-	>3,5
$Cu = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	>3,5

Catatan :

1. 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.
2. 55/50 menunjukkan bahwa 55% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 50% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih
3. 80/75 menunjukkan bahwa 80% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 75% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih

Tabel 2. Spesifikasi Bina Marga untuk Gradasi Lapis Fondasi dan Lapis Drainase

Ukuran Ayakan	(mm)	Persen berat yang Lolos			
		Lapis Pondasi Agregat			Lapis Drainase
		Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2"	50		100		
1 ½"	37,5	100	88-95	100	100
1"	25,0	79-85	70-85	77-89	71-87
¾"	19,0				58-74
½"	12,5				44-60
3/8"	9,50	44-58	30-65	41-66	34-50
No.4	4,75	29-44	25-55	26-54	19-31
No.8	2,36				8-16
No.10	2,0	17-30	15-40	15-42	
No.16	1,18				0-4
No.40	0,425	7-17	8-20	7-26	
No.200	0,075	2-8	2-8	4-16	

Ada dua komposisi agregat atau *Design Mix Formula* yang digunakan untuk pengujian di

laboratorium yaitu DMF1 memenuhi kriteria sebagai Agregat A dan DMF2 memenuhi kriteria sebagai Lapis Drainase. Komposisi Agregat diatur dengan menyusun persentase ukuran agregat yaitu Ukuran 20-30 (37.5 – 25.4 mm), Ukuran 10-20 (25.4 – 9.5 mm), Ukuran 10-10 (9.5 – 4,75 mm) dan Abu Batu (Lolos saringan No 4).

Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut: Berat jenis (ASTM 128), Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417-2008), Butiran pecah tertahan Ayakan No 4 (SNI 7619-2012), Analisis saringan kasar (ASTM D 422 atau SNI 3423:2008), Plastisitas atau *Atterberg Limits* (SNI 1966 dan 1967-2008), Gumpalan lempung dan butiran mudah pecah (SNI 4141-2015), Pemadatan berat (*Modified Proctor*) (SNI 1743-2008), dan CBR rendaman (SNI 1742-2012).

Hasil analisis saringan diplot bersama sama dengan gradasi Agrerat yang diberikan dalam spesifikasi Bina Marga (Tabel 2) untuk menentukan apakah Agregat yang digunakan memenuhi spesifikasi Agregat Kelas A dan sebagai Lapis drainase.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dipaparkan dalam beberapa bagian yaitu (1) Komposisi agregat untuk *design mix formula* yang direncanakan di laboratorium, (2) Karakteristik agregat yang digunakan (3) Hasil pengujian analisis Saringan (4) Hasil pengujian CBR, (5) Hasil Pengujian Permeabilitas, (6) Perhitungan porositas atau storage capacity, dan (7) Pembahasan.

Komposisi Agregat untuk *Design Mix Formula*

Untuk mendapatkan daya dukung yang tinggi, suatu agregat harus memiliki gradasi yang baik yaitu terdapat semua ukuran partikel sehingga dapat mencapai tingkat kepadatan yang tinggi. Sebaliknya, untuk berfungsi sebagai drainase agregat harus memiliki ruang pori yang besar dan

hal itu bisa dicapai dengan gradasi seragam atau gradasi terbuka. Kinerja yang ingin dicapai dalam pemeriksaan Agregat adalah pencapaian kriteria yang diberikan dalam Tabel 1 dan 2. Dengan demikian dilakukan pemilahan ukuran butiran tanah dan mendapatkan *design mix formula* (DMF) yang sesuai sebagai Agregat A dan Lapis Drainase.

Seperti dijelaskan sebelumnya, penelitian ini menggunakan 5 sampel. Untuk setiap sampel dibuat dua campuran DMF. Tabel 3 memperlihatkan persentase setiap ukuran agregat sebagai *Agregat Base A* (DMF1), sedangkan Tabel 4 memperlihatkan persentase setiap ukuran agregat sebagai Lapis Drainase (DMF2). Penyesuaian komposisi agregat DMF2 dilakukan dengan cara (1) Menyusun kembali komposisi Agregat yaitu persentasi Ukuran 30 – 20, 20 – 10, 10 – 10 dan abu batu (2) Menyaring bagian abu batu untuk mengeliminir partikel yang lolos saringan No 40.

Tabel 3. Konfigurasi ukuran partikel untuk setiap sampel sebagai Agregat A (DMF1)

Sampel	30-20 (%)	20-10 (%)	10-10 (%)	Abu batu (%)
1	20	30	15	35
2	30	20	20	30
3	30	20	20	30
4	20	27	20	33
5	20	35	10	35

Table 4. Konfigurasi ukuran partikel untuk setiap sampel sebagai lapisan drainase (DMF2)

Sampel	30-20 (%)	20-10 (%)	10-10 (%)	Abu batu (%) tertahan ayakan No 40*)
1	20	35	25	20
2	20	35	25	20
3	55	0	37	8
4	20	35	25	20
5	20	35	20	25

*) setelah dicampur maka partikel lolos ayakan No 40 harus dibuang

Tabel 5. Sifat sifat Agregat Andesit (DMF1) yang digunakan sebagai Lapisan pondasi / Agregat Kelas A

Sifat-sifat	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5	Spesifikasi Agregat Kelas A	Spesifikasi Lapis Drainase
Abrasi Agregat Kasar	25.30	25.30	19.66	22.51	25.21	< 40	< 40
Batuan pecah tertahan No 4	96.1/94.8	96.1/94.8	96.3/94.6	96.0/94.4	98.0/95.9	>95/90	80/75
Batas Cair	0	0	0	0	0	< 25	
Indeks plastisitas	0	0	0	0	0	< 10	
Hasil kali PI dengan lolos No 200	0	0	0	0	0	< 25	
Gumpalan lempung & Butiran mudah pecah	3.88	3.88	1.95	2.47	1.87	< 5	<5
Perbandingan % lolos No 200 dan No 40	1/3	4/9	2/5	1/3	1/2	< 2/3	

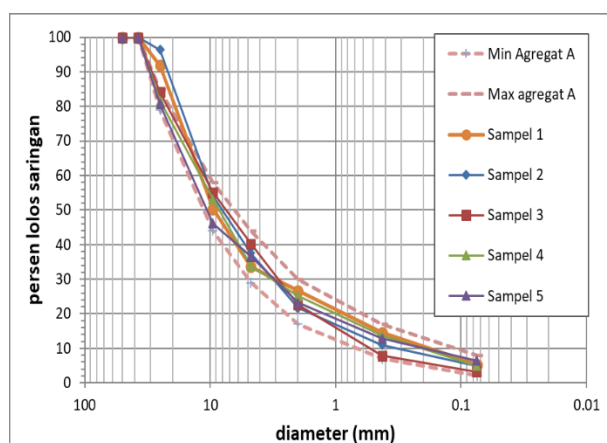
Karakteristik Agregat yang Digunakan

Hasil pengujian awal diperlihatkan pada Tabel 5. Dapat dilihat pada Tabel 5 bahwa semua sampel Agregat Andesit yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan sebagai Agregat kelas A dan juga sebagai Lapis drainase dengan nilai abrasi agregat kasar < 40 dan kadar gumpalan lempung dan butiran mudah pecah < 5%. Agregat Andesit juga memenuhi persyaratan lainnya sebagai Agregat A yaitu bersifat Non plastis, serta perbandingan % lolos No 200 dan No 40 lebih kecil dari 2/3. Jumlah batuan pecah tertahan ayakan No 4 untuk ke 5 sampel yang digunakan lebih besar dari 95/90 sehingga memenuhi persyaratan sebagai Agregat Kelas A maupun sebagai lapis drainase (> 80/75).

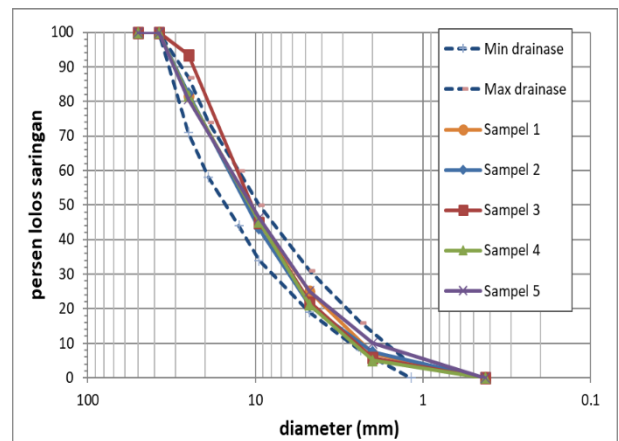
Hasil Pengujian Analisis Saringan

Gambar 4 menunjukkan grafik analisis saringan untuk DMF1 dibandingkan dengan spesifikasi untuk Lapisan Agregat A. Dapat dilihat bahwa semua sampel dengan komposisi ukuran butiran yang di disain pada Tabel 3 memenuhi syarat sebagai fondasi jalan berdasarkan spesifikasi Bina Marga (2018). Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa gradasi agregat sampel 1 – 5 dengan komposisi seperti pada Tabel 3 berada dalam lingkungan gradasi yang disyaratkan untuk Agregat Kelas A.

Gradasi sampel 1 – 5 untuk DMF2 dibandingkan dengan spesifikasi drainase ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar ini menunjukkan bahwa Agregat Andesit yang didesain sesuai DMF2 seperti pada Tabel 4 memenuhi persyaratan sebagai lapisan drainase.



Gambar 4. Gradasi Agregat Sampel 1 – 5 (DMF1) dibandingkan dengan gradasi Agregat A



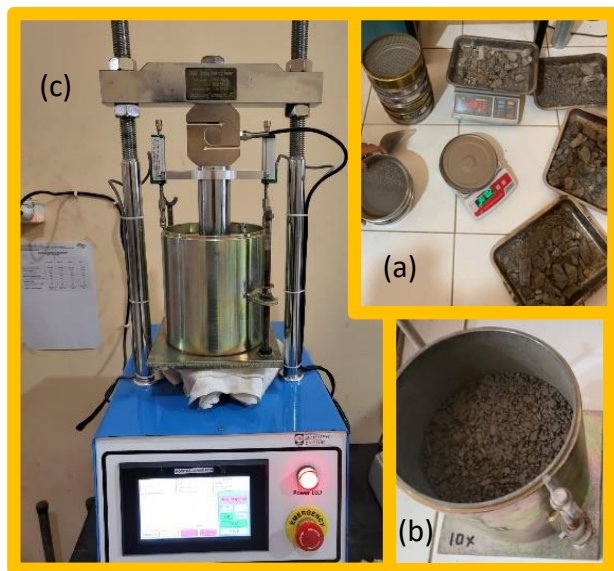
Gambar 5. Gradasi Agregat Sampel 1 – 5 (DMF2) dibandingkan dengan gradasi Agregat sebagai lapisan drainase

Hasil Pengujian CBR

Pengujian CBR dilakukan terhadap sampel dengan komposisi pada Tabel 3 (DMF1) dan Tabel 4 (DMF2). Sampel untuk pengujian CBR dipadatkan dengan metode yang sama dengan pemadatan *Modified Proctor* dimana proses pemadatan dilakukan dengan menyusun sampel dalam 5 lapisan dan memadatkannya dengan 56 pukulan (SNI 1743-2008). Metode pemadatan ini dipilih karena penelitian terdahulu (Scholz, & Grabowiecki, 2007; Cetin, dkk. 2014, Choi, dkk., 2018) menunjukkan bahwa metode *impact* (pukulan) dapat memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode getaran dalam hal peningkatan modulus.

Pengujian CBR dilakukan mengikuti prosedur pada SNI 1744-2012. Gambar 6 memperlihatkan sampel dan pengujian CBR yang dilakukan terhadap sampel 5 DMF2. Gambar 6a memperlihatkan proses pemilahan sampel dan Gambar 6b memperlihatkan sampel ditempatkan dalam mold dan dipadatkan sesuai hasil pengujian pemadatan berat (*modified Proctor*), sedangkan Gambar 6c memperlihatkan pengujian CBR.

Hasil pengujian CBR terhadap sampel 5 untuk DMF2 diperlihatkan pada Gambar 7. Dapat dilihat bahwa Sampel 5 yang disiapkan dengan DMF2 berdasarkan hasil pengujian pemadatan Modified Proctor yaitu isi kering maximum $\gamma_d = 2,01 \text{ gr/cm}^3$ dan kadar air optimum $w_{opt} = 7,64\%$ memiliki nilai CBR rendaman 92,05%.



Gambar 6. Sampel dan Pengujian CBR terhadap Sampel No 5 (a) pembagian ukuran butiran (b) sampel dalam mold siap diuji (c) pengujian CBR

tetap (*constant head test*) dengan prosedur seperti tertuang dalam SNI 2435:2008. Hasil pengujian permeabilitas terhadap agregat yang dipadatkan dengan metode *Modified Proctor* disajikan pada Tabel 7. Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa Sampel 1 – 5 mempunyai koefisien kelulusan air setara dengan permeabilitas kerikil 0,08 – 1 m/det (Craig, 2004), sehingga dapat digunakan sebagai lapis pondasi untuk perkerasan permeabel.

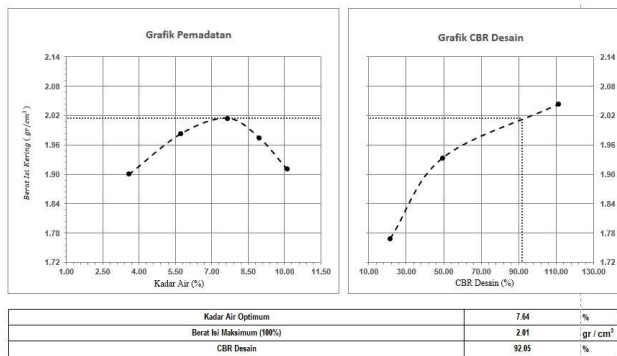
Tabel 7. Hasil pengujian Permeabilitas

Sampel	Koefisien kelulusan air (m/det)	
	DMF1	DMF2
1	0,0004	0,0529
2	0,0009	0,0529
3	0,0025	0,0625
4	0,0004	0,0676
5	0,0004	0,0090

Hasil Perhitungan Porositas Agregat

Kapasitas penyimpanan air (*water storage capacity*) merupakan salah satu sifat yang perlu diperhatikan dalam perencanaan perkerasan permeabel. Dalam tanah jenuh air, kapasitas penyimpanan air dapat diperkirakan berdasarkan porositas. Porositas dapat dihitung berdasarkan nilai berat jenis (*specific gravity*) dan kadar air optimum agregat padat. Dalam hal ini berat jenis agregat rata rata untuk semua sampel adalah 2,67. Hasil perhitungan porositas dapat dilihat pada Tabel 8. Perlu dicatat bahwa porositas ini adalah untuk sampel yang telah dipadatkan.

Dapat dilihat bahwa kapasitas penyimpanan air lebih besar untuk campuran DMF2 dibandingkan dengan DMF1. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Choi dkk. (2018) bahwa agregat bergradasi terbuka yang dipadatkan lebih sesuai sebagai bahan untuk pondasi perkerasan permeabel dibandingkan bahan agregat padat.



Gambar 7. Hasil pengujian CBR untuk sampel 5

Hasil pengujian CBR rendaman untuk sampel 1 – 5 yang disiapkan untuk DMF1 dan DMF 2 diperlihatkan pada Tabel 6. Dapat disimpulkan dari Tabel 6 bahwa sampel yang telah dibersihkan dari abu batu (DMF2) masih mempunyai nilai CBR yang lebih tinggi dari 90% sehingga dapat digunakan sebagai lapisan Base Agregat A.

Tabel 6. Hasil pengujian CBR untuk semua sampel

Sampel	CBR rendaman (%)	
	DMF1	DMF2
1	98,95	92,50
2	100	92,25
3	95,83	90,55
4	100	91,65
5	100	92,05

Tabel 8. Kapasitas penyimpanan air lapisan drainase

Sampel	Porositas (η) (%)	
	DMF1	DMF2
1	17,2	20,5
2	12,5	16,2
3	14,5	17,9
4	14,2	17,6
5	16,7	19,4

Hasil Pengujian Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan terhadap sampel yang dipadatkan dengan metode tekanan

Pembahasan

Kinerja agregat lokal sebagai materi fondasi jalan dengan perkerasan permeabel dievaluasi dalam

penelitian ini. Agregat yang digunakan adalah Agregat yang berasal dari batuan Andesit dari Lampung Selatan. Evaluasi dilakukan berdasarkan spesifikasi Bina Marga (2018) terhadap 5 sampel yang gradasinya disiapkan berdasarkan spesifikasi Bina Marga sebagai Agregat Base A (DMF1) dan sebagai Lapis Drainase (DMF2). Hasil pengujian CBR, permeabilitas dan perhitungan porositas berturut turut diberikan pada Tabel 4, 5, dan 6.

Hasil pengujian CBR terhadap lima sampel DMF2 yang disiapkan berdasarkan kriteria sebagai Lapis Drainase menunjukkan nilai CBR yang lebih rendah namun masih lebih tinggi daripada nilai minimum CBR yang disyaratkan untuk Agregat A (>90%). Dengan demikian DMF2 masih bisa digunakan sebagai lapis base jalan.

Sampel yang disiapkan berdasarkan kriteria sebagai lapis drainase (DMF2) memiliki koefisien permeabilitas yang jauh lebih tinggi, rata rata 50 kali lebih permeabel. Demikian juga, hasil perhitungan porositas yang merupakan indikasi kapasitas penyimpanan air, menunjukkan bahwa DMF2 mempunyai kapasitas penyimpanan air lebih besar dibandingkan DMF1.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Agregat lokal dari jenis Andesit dapat digunakan sebagai fondasi perkerasan permeabel bahkan untuk lalu lintas berat karena memenuhi semua kriteria dalam spesifikasi Bina Marga (2018). Design Mix Formula yang disiapkan berdasarkan gradasi sebagai Lapis perkerasan memiliki daya dukung atau nilai CBR = 92%, kapasitas penyimpanan air rata rata $\eta = 18,32\%$ dan permeabilitas k rata rata 0,05 m/detik. Hasil pengujian permeabilitas ini berada pada batas bawah dari hasil penelitian oleh Bai, et al. (2019) yaitu antara 0,05 – 0,16 m/detik. Ketebalan lapisan fondasi untuk perkerasan permeabel dapat direncanakan berdasarkan kapasitas penyimpanan air dan laju kelulusan air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Yudi Harianto dari Laboratorium Sipil Geoteknik Pratama yang telah membantu dalam penyediaan data dan pengujian laboratorium untuk penelitian ini.

REFERENSI

- AASHTO, (2004). Standard specifications for Transportation materials and Methods of Sampling and Testing. American Association of State Highway Officials, USA
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Panduan pengujian CBR laboratorium*. SNI 1744:2012. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. *Cara uji kelulusan air benda uji tanah di laboratorium dengan tekanan tetap*. SNI 2435:2008. Jakarta
- Bai, Y., Li, Y., Zhang, R., Zhao, N. & Zeng, X (2019) Comprehensive Performance Evaluation System based on Environmental and Economic Benefits for Optimal Allocation of LID Facilities. *Water* 2019 11 341
- Brattebo, B. O., and Booth, D. B. 2003. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water Research* 37(18): 4369-4376
- Cetin, A. Kaya, Z. Cetin, B. & Aydilek, AH. (2014) Influence of laboratory compaction method on mechanical and hydraulic characteristics of unbound granular base materials, *Road Materials and Pavement Design*, 15:1, 220-235,
- Choi, YJ., Ahn, D., Nguyen, TH., & Ahn, J. (2018) Assessment of Field Compaction of Aggregate Base Materials for Permeable Pavement Based on Plate Load Test. *Sustainability*. 10:3817
- Craig, R.F. (2004) *Craig's Soil Mechanics*. 7th Ed. Spon & Press. London & New York.
- Direktorat Jendral Bina Marga (2017) *Manual Perkerasan Jalan Rev. Juni 2017 No 04/SE/Db/2017*
- Direktorat Jendral Bina Marga (2018) *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. SE DirJen Bina Marga No 02/SE/Db/2018
- Fardiansah, Y. & Gofar, N. (2020) Pengaruh Penambahan Pasir terhadap Daya Dukung Subgrade Jalan. *Cantilever Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil* 9 (2), 63 – 68.
- Fassman, E. A., & Blackbourn, S. (2010). Urban runoff mitigation by a permeable pavement system over impermeable soils. *Journal of hydrologic engineering*, 15(6), 475-485.
- Saurabh, J., Joshi, Y.P., and Goliya, S.S. (2013). Design of Rigid and Flexible Pavements by Various Methods & Their Cost Analysis of Each Method, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 3(5):119-123.
- Scholz, M., & Grabowiecki, P. (2007). Review of permeable pavement systems. *Building and environment*, 42(11), 3830-3836.
- Sebastian, L. (2008) Pendekatan Pencegahan dan Penanggulangan Banjir. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*, 8(2): 62 – 169
- Sembung, NT., Sebdow, TK., & Palenewen, S. (2020) Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara, Kota Tomohon *Jurnal Sipil Statik* 8(3):345-352.
- Syarifudin, A. (2018) *Drainase Perkotaan Berwawasan Lingkungan*, Penerbit Andi
- Tatek F. Yideti, Bjorn Birgisson & Denis Jelagin (2014) Influence of aggregate packing structure on California bearing ratio values of unbound granular materials, *Road Materials and Pavement Design*, 15:1, 102-113.

