

## **STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN CRUSHER DUST DAN PENAMBAHAN ZAT POLYURETHANE PADA CAMPURAN BERASPAL BERPORI**

**Riska Wulandari**  
Program Studi Teknik Sipil,  
Universitas Pradita  
Scientia Business Park,  
Jl. Gading Serpong Boulevard  
No.1 Tower 1, Curug Sangereng,  
Kec. Klp. Dua, Kab. Tangerang,  
Banten 15810

**Bella Koes Paulina Cantik**<sup>1</sup>  
Program Studi Teknik Sipil,  
Universitas Pradita  
Scientia Business Park,  
Jl. Gading Serpong Boulevard  
No.1 Tower 1, Curug Sangereng,  
Kec. Klp. Dua, Kab. Tangerang,  
Banten 15810

**Basili Nabil Syamsuddin**  
Program Studi Teknik Sipil,  
Universitas Pradita  
Scientia Business Park,  
Jl. Gading Serpong Boulevard  
No.1 Tower 1, Curug Sangereng,  
Kec. Klp. Dua, Kab. Tangerang,  
Banten 15810

**Mutiara Permata Puspita Dewi**  
Program Studi Teknik Sipil,  
Universitas Pradita  
Scientia Business Park,  
Jl. Gading Serpong Boulevard  
No.1 Tower 1, Curug Sangereng,  
Kec. Klp. Dua, Kab. Tangerang,  
Banten 15810

**Kenneth Sebastian Telussa**  
Program Studi Teknik Sipil,  
Universitas Pradita  
Scientia Business Park,  
Jl. Gading Serpong Boulevard  
No.1 Tower 1, Curug Sangereng,  
Kec. Klp. Dua, Kab. Tangerang,  
Banten 15810

**Kelvin**  
Program Studi Teknik Sipil,  
Universitas Pradita  
Scientia Business Park,  
Jl. Gading Serpong Boulevard  
No.1 Tower 1, Curug Sangereng,  
Kec. Klp. Dua, Kab. Tangerang,  
Banten 15810

### **Abstract**

The road damage issue in Indonesia remains a critical concern in infrastructure development as it can affect road users' mobility and comfort and worsen traffic conditions. Road damage can be caused by several factors, such as excessive water pooling due to high rainfall intensity, decreased infiltration capacity, overloaded vehicles, traffic congestion, and improper infrastructure construction that doesn't meet the Standards. Waste from stone crusher aggregates is utilized as a mixture material in this research to control waste and reduce the extraction of natural aggregates from the environment. Polyurethane material of polyol type is added as a mixture for porous asphalt. The result indicates that higher additions of waste aggregate composition and polyol decrease the permeability coefficient. The highest stability value is achieved at 100% waste aggregate content and 59,32% polyol additions, with a value of 1273,99 kg. The variations in waste aggregate and polyol content in porous asphalt mixtures can influence the permeability coefficient, stability, and flow values.

**Keywords:** porous asphalt, waste aggregate, polyurethane, stability

### **Abstrak**

Kerusakan jalan di Indonesia menjadi isu penting dalam pembangunan infrastruktur karena mempengaruhi mobilitas dan kenyamanan pengguna jalan serta memperburuk kondisi lalu lintas. Kerusakan jalan diakibatkan oleh beberapa faktor, seperti genangan berlebih akibat intensitas hujan yang cukup tinggi, kapasitas infiltrasi menurun, kendaraan yang memiliki beban berlebih, kepadatan lalu lintas, maupun pembangunan infrastruktur yang tidak sesuai standard. Dalam upaya pengendalian limbah dan mengurangi pengambilan agregat alami di alam, maka crusher dust hasil stone crusher ini dimanfaatkan sebagai bahan campuran. Selain itu penambahan zat polyurethane tipe polyol sebagai bahan campuran beraspal berpori. Didapatkan hasil bahwa penambahan komposisi crusher dust dan penambahan polyol meningkatkan nilai stabilitas 146% dari campuran beraspal berpori tanpa crusher dust dan polyol. Nilai stabilitas tertinggi didapatkan pada kadar crusher dust 100% dan penambahan polyol 7,5% dengan nilai yang diperoleh 1273,99 kg. Penambahan variasi crusher dust dan variasi polyol pada campuran beraspal berpori dapat mempengaruhi nilai koefisien permeabilitas, stabilitas dan flow.

**Kata Kunci:** beraspal berpori, crusher dust, polyurethane, stabilitas

---

<sup>1</sup> Corresponding author : bella.paulina@pradita.ac.id

## PENDAHULUAN

Kerusakan pada infrastruktur jalan menjadi salah satu kendala besar yang terjadi di ruang lingkup perkerasan jalan. Hal ini diakibatkan oleh beberapa faktor, seperti genangan air yang berlebih akibat intensitas hujan yang cukup tinggi, tingginya volume lalu lintas, kemacetan yang tidak seimbang, kecelakaan lalu lintas, dan kesalahan hingga kegagalan pada proses pembuatan perkerasan jalan. Hal tersebut berdampak pada besarnya pengeluaran biaya untuk perbaikan, kerugian ekonomi karena menurunnya efisiensi transportasi, dan kurangnya aksesibilitas (Sembung et al., 2020). Oleh karena itu campuran beraspal berpori dalam perkerasan jalan dipilih sebagai salah satu upaya dalam mengatasi hal tersebut. Campuran beraspal berpori dirancang untuk mencegah genangan berlebih pada permukaan jalan, sehingga dapat meningkatkan kapasitas infiltrasi. Dengan adanya rongga pada campuran beraspal berpori menyebabkan nilai stabilitas yang rendah dimiliki oleh campuran beraspal tersebut, tetapi dapat menghasilkan nilai permeabilitas yang tinggi (Arlia et al., 2018). Daerah yang mengalami curah hujan tinggi sangat tepat menjadi wilayah pengaplikasian campuran beraspal berpori tersebut (Sihombing, 2020). Selain itu, campuran beraspal berpori juga dapat mengurangi kebisingan, ramah lingkungan, dan memiliki daya tahan yang baik (Ramlan, 2016).

Dalam pembuatan campuran beraspal berpori, agregat merupakan komponen utama yang menyusun sekitar 90%-95% berat total campuran beraspal (Ramlan, 2016). Salah satu mesin agregat yang digunakan dalam konstruksi bangunan, yaitu *Stone Crusher*. Umumnya mesin ini digunakan untuk menghancurkan batuan dengan bentuk yang sangat besar agar menjadi batuan dengan bentuk yang lebih kecil atau sesuai dengan keperluan. Hal tersebut dilakukan agar batuan dapat digunakan sebagai bahan baku dalam campuran beton, aspal, dan bahan bangunan lainnya (Achmad Noor, 2020). Namun, pada konstruksi bangunan maupun jalan membutuhkan agregat yang sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan. Oleh karena itu, agregat yang telah dihancurkan oleh mesin *Stone Crusher* tetapi tidak sesuai dengan spesifikasi tidak akan digunakan dan menghasilkan sisa pecahan batu atau yang dikenal dengan istilah *crusher dust* dalam jumlah yang tidak sedikit. Dalam meminimalisir lingkungan yang tercemar, salah satu cara yang dapat direalisasikan adalah dengan menggunakan kembali *crusher dust* sebagai material substitusi dalam campuran beraspal berpori.

Tujuan penelitian ini, yaitu mengetahui reaksi dari hasil substitusi *crusher dust* dan penambahan zat *polyurethane* terhadap campuran beraspal berpori. *Polyurethane* merupakan bahan *polymer* yang terbentuk dan bereaksi antara *isocyanate* dan *polyol*. Penambahan zat *polyurethane* pada campuran aspal berpori dapat meningkatkan stabilitas Marshall sebesar tiga kali lipat dibandingkan tanpa penambahannya (Candra P.R et al., 2021). Dengan hal ini *Polymer polyurethane* memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas campuran aspal berpori. Variasi kadar *polyol* yang dipakai, yaitu 5%; 7,5%; dan 10%. Kemudian persentase substitusi dari *crusher dust*, yaitu 0%, 50%, dan 100%. Dalam penelitian ini, pemanfaatan *crusher dust* dan penambahan zat *polyol* pada campuran beraspal berpori merupakan sebuah upaya untuk meningkatkan nilai tambah dari limbah konstruksi. Maka dengan dilakukannya penelitian ini, akan diketahui komposisi dan kombinasi optimum dari kedua material tersebut terhadap parameter-parameter Marshall, termasuk stabilitas, *flow*, dan permeabilitas. Sehingga akan diperoleh data yang menjadi

referensi pada penelitian yang akan datang. Adapun ruang lingkup penelitian ini dibatasi oleh jenis perkerasan jalan yang digunakan, yaitu perkerasan jalan lentur yang menggunakan aspal sebagai material utamanya, serta tidak menggunakan material seperti besi tulangan. Selain itu, Indonesia yang dilalui oleh garis khatulistiwa cenderung tidak memiliki iklim yang menyebabkan perubahan suhu yang ekstrem dan sampel dari campuran beraspal berpori ditujukan untuk beban rencana pada jalan pedestrian. Oleh karena itu, pengujian *toughness* dan *soundness* tidak diperlukan pada pengujian ini.

## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Material Agregat

Bahan-bahan yang dipakai dalam proses pengujian, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Sebelum dipakai, agregat kasar harus melalui pengujian yang terdiri dari uji berat jenis, penyerapan, dan keausan. Sedangkan agregat halus hanya melalui uji berat jenis dan penyerapan. Pengujian material agregat ini menggunakan acuan Standard Nasional Indonesia dengan spesifikasi dari Bina Marga 2018 revisi 2. Kemudian hasil pengujian tersebut telah tersusun dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji material agregat

No	Material	Pengujian Agregat	Standard	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Agregat Kasar	Berat Jenis	SNI-1969-2016	Minimal 2,5 gr/cm <sup>3</sup>	2,62 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi
2		Penyerapan	SNI-1969-2016	Maksimal 3%	2,16%	Memenuhi
3		Keausan	SNI-2417-2008	Maksimal 40%	16,67%	Memenuhi
4	Agregat Halus	Berat Jenis	SNI-1970-2016	Minimal 2,5 gr/cm <sup>3</sup>	2,55 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi
5		Penyerapan	SNI-1970-2016	Maksimal 3%	2,30%	Memenuhi

Dalam spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 tidak diizinkan berat jenis agregat kasar dan agregat halus berbeda  $> 0,2 \text{ gr/cm}^3$  (Badan Standardisasi Nasional, 2008). Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa keseluruhan hasil pengujian pada material agregat kasar dan agregat halus sudah memenuhi kualifikasi dengan hasil uji tersebut berturut-turut adalah 2,62 gr/cm<sup>3</sup> dan 2,55 gr/cm<sup>3</sup>. Melalui hasil tersebut, dapat diketahui bahwa berat jenis agregat kasar lebih besar 0,07 gr daripada berat jenis agregat halus. Kemudian diperoleh hasil uji penyerapan agregat halus sebesar 2,30% yang nilainya lebih besar 0,14% dibandingkan dengan nilai penyerapan agregat kasar, yaitu 2,16%. Dari perolehan hasil pengujian tersebut, dapat ditunjukkan bahwa agregat yang digunakan memiliki volume pori yang besar dan dapat menyerap kandungan aspal pada proses pencampurannya. Oleh karena itu, dalam pembuatan campuran beraspal akan membutuhkan jumlah aspal yang besar.

### Pengujian Material Aspal

Material aspal yang dipakai dalam penelitian ini merupakan aspal yang memiliki penetrasi sebesar 60-70. Pengujian material aspal menggunakan standar acuan dari Standard Nasional Indonesia dengan spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2 (Bina Marga, 2020). Adapun pengujian tersebut terdiri dari uji daktilitas aspal, uji titik nyala aspal, uji titik bakar aspal, uji titik lembek aspal, uji berat jenis aspal, hingga uji penetrasi aspal. Setelah

dilakukan rangkaian pengujian pada material aspal tersebut, diperoleh hasil pengujian yang dirujuk pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji material aspal

No	Pengujian Aspal	Standard	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Daktilitas	SNI-2432-2011	Minimal 100 cm	150 cm	Memenuhi
2	Titik Nyala, Titik Bakar	SNI-2433-2011	Minimal 232°C	364°C	Memenuhi
3	Titik Lembek	SNI-2434-2011	48-58°C	48,8°	Memenuhi
4	Berat Jenis	SNI-2441-2011	Minimal 1 gr/cm <sup>3</sup>	1,03 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi
5	Penetrasi	SNI-2456-2011	60-70	66,00	Memenuhi

Pada Tabel 2 menunjukkan keseluruhan hasil pengujian material aspal sudah memenuhi syarat dari spesifikasi yang ditentukan. Dapat dilihat dari pengujian daktilitas bahwa nilai pengujian sebesar 150 cm lebih besar dari spesifikasi SNI, yaitu 100 cm. Hal ini menunjukkan bahwa material aspal yang digunakan memiliki fleksibilitas yang baik. Untuk memastikan bahwa material aspal tidak mudah terbakar, diperlukan pengujian titik nyala dan titik bakar, yang hasilnya telah memenuhi kualifikasi dari persyaratan yang ditentukan. Kemudian untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal dilakukan uji penetrasi, semakin tinggi nilai penetrasi yang diperoleh maka berbanding lurus dengan tingginya nilai kelunakan aspal. Dalam pengujian ini, nilai yang didapatkan lebih besar dari 60, yaitu sebesar 66.

### Analisis Saringan Agregat

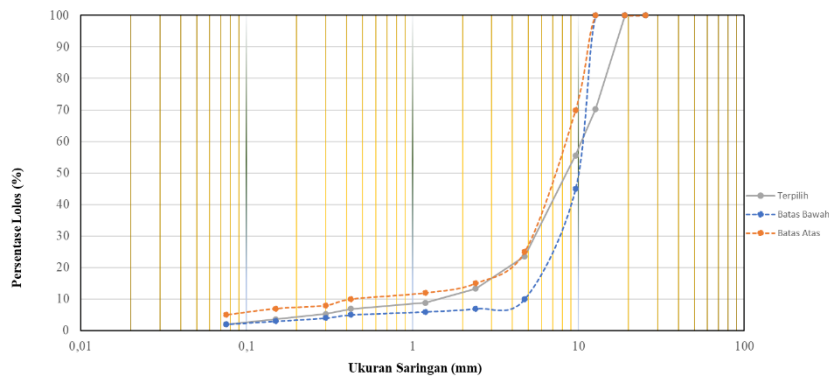
Dalam melakukan pengujian campuran beraspal berpori hal pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan analisis saringan agregat campuran. Pengujian Analisis Saringan Agregat ini menggunakan 4 bin agregat yang terdiri dari *split*, *screening*, dan abu batu. Spesifikasi yang digunakan dalam pengujian analisa saringan agregat yaitu mengacu pada Standard *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) yang dirujuk pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis saringan dan persentase lolos agregat kasar dan agregat halus

No	No. Saringan	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Spesifikasi AAPA	Target AAPA
1	3/4"	100	100	100	100	100	100
2	1/2"	48,74	100	100	100	-	70,27
3	3/8"	23,40	100	100	100	45-70	55,57
4	4	3,13	25,04	100	100	10-25	23,58
5	8	0,13	0,40	7,90	100	7-15	13,34
6	16	0,07	0,06	0,30	67,60	6-12	8,85
7	30	0,05	0,05	0,21	52,59	5-10	6,88
8	50	0,04	0,04	0,15	40,41	4-8	5,29
9	100	0,02	0,01	0,08	27,59	3-7	3,60
10	200	0,00	0,01	0,02	15,50	2-5	2,02
				Bin 1	58%		
				Bin 2	27%		
				Bin 3	2%		
				Bin 4	13%		

Tabel 3 menunjukkan keseluruhan ukuran agregat terpilih memenuhi persyaratan *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA, 2004). Kemudian dalam pembuatan campuran beraspal berpori dapat menggunakan gradasi agregat tersebut karena telah

memenuhi persyaratan *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA). Dalam menentukan jenis gradasi yang termasuk dalam spesifikasi, digunakan cara *trial and error*, hasil yang telah didapatkan dapat digunakan pada pembuatan benda uji campuran beraspal berpori. Terdapat 4 jenis ukuran batuan yang digunakan, besarnya masing-masing persentase batuan tersebut secara representatif perolehan gradasi agregat disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Hasil gradasi agregat campuran (agregat murni dan *crusher dust*)

Gambar 1 gradasi agregat campuran yang terdiri dari agregat murni dan *crusher dust*. Gradasi yang diperoleh adalah jenis gradasi seragam atau dengan istilah lain disebut dengan gradasi terbuka yang dimana agregat halus yang digunakan memiliki jumlah butiran yang sedikit hal tersebut yang memberikan rongga-rongga udara antar agregat. Dengan hasil gradasi yang didapatkan akan menghasilkan campuran dengan lapisan perkerasan yang memiliki karakteristik koefisien permeabilitas yang tinggi, tetapi memperoleh nilai stabilitas yang rendah.

### Perancangan Campuran Kadar Aspal Optimum

Dalam mendapatkan Kadar Optimum Aspal (KAO) ditentukan lima variasi kadar aspal, yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Kadar aspal tersebut dihitung untuk mendapatkan berat dari masing-masing material. Material tersebut akan digunakan dalam campuran beraspal berpori untuk menemukan kadar aspal optimum yang selanjutnya akan dipakai dalam modifikasi menggunakan *crusher dust* sebagai substitusi agregat murni dan penambahan *polyol*. Perancangan campuran dalam mencari nilai kadar aspal optimum dirujuk melalui Tabel 4.

Tabel 4. Perancangan campuran kadar aspal optimum

No	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Kadar Aspal Terhadap Batuan (%)	Kadar Agregat (%)	Total (%)
1	4,5	4,31	95,69	100
2	5,0	4,76	95,24	
3	5,5	5,21	94,79	
4	6,0	6,66	94,34	
5	6,5	6,10	93,90	

Tabel 4 menunjukkan perancangan campuran yang sudah didapatkan digunakan untuk pembuatan campuran beraspal berpori tanpa variasi limbah dan *polyurethane*. Dari

perancangan campuran yang sudah ditentukan diperoleh hasil pengujian campuran beraspal berpori tanpa bahan tambah material *crusher dust*. Dari hasil pengujian yang didapatkan, dipilih kadar aspal yang memenuhi persyaratan pengujian. Pengujian yang dilakukan mendapatkan nilai stabilitas dan *flow* berupa pengujian Marshall, kemudian pengujian permeabilitas untuk mengetahui kemampuan air untuk mengalir pada rongga campuran beraspal berpori. Pengujian permeabilitas dilakukan dengan menggunakan metode *falling head permeability* dengan cara menghitung waktu yang dibutuhkan air untuk melewati pori-pori pada campuran beraspal berpori. Metode ini mengacu pada prinsip hukum Darcy. Hasil yang didapatkan terdapat dua kadar aspal yang lolos dari kualifikasi yang ditentukan yaitu kadar aspal 5,00% dan 5,50%. Dari pengujian tersebut dipilih Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5% dengan koefisien permeabilitas sebesar 0,040 cm/detik, nilai stabilitas yang diperoleh sebesar 518,20 kg, dan *flow* sebesar 5,20 mm. Kadar aspal tersebut dipilih karena pada kadar 5% hasil nilai stabilitas, *flow*, serta koefisien permeabilitas lebih baik daripada kadar aspal 5,5%. Hasil pengujian penentuan kadar aspal optimum dirujuk melalui Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)

No	Kadar Aspal (%)	Density	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Permeabilitas (cm/detik)	Porositas (%)
1	4,50	2,37	251,21	4,60	0,051	15,20
2	5,00	2,38	518,20	5,20	0,040	16,01
3	5,50	2,40	504,93	5,40	0,023	16,80
4	6,00	2,37	356,66	6,00	0,021	13,52
5	6,50	2,30	321,68	5,00	0,025	13,45
Spesifikasi		>2	>500	2-6	>0,01	16-22

Tabel 5 menunjukkan variasi kadar aspal 4,5% tidak lolos dari spesifikasi yang ditentukan. Hal tersebut dikarenakan persentase aspal yang digunakan sedikit, menyebabkan agregat tidak dapat mengikat dengan baik. Variasi kadar aspal yang tidak lolos dari spesifikasi yang ditentukan, yaitu variasi kadar aspal sebesar 6% dan 6,5% karena pada kadar tersebut persentase aspal yang digunakan terlalu banyak dan menyebabkan menurunnya nilai stabilitas. Sedangkan variasi kadar aspal yang lolos kualifikasi persyaratan adalah kadar 5% dan 5,5%. Kadar aspal optimum yang digunakan pada campuran *crusher dust* dan penambahan *polyol* adalah kadar 5%. Pada kadar tersebut nilai stabilitas yang didapatkan lebih tinggi sebesar 518,20 kg, serta nilai *flow* yang lebih rendah sebesar 5,20 mm dibandingkan dengan kadar aspal 5,5%. Hasil Kadar Aspal Optimum yang sudah didapatkan selanjutnya dipakai untuk membuat campuran beraspal dengan variasi *crusher dust* 0%, 50%, 100% dan variasi *polyurethane* 5%, 7,5% dan 10%.

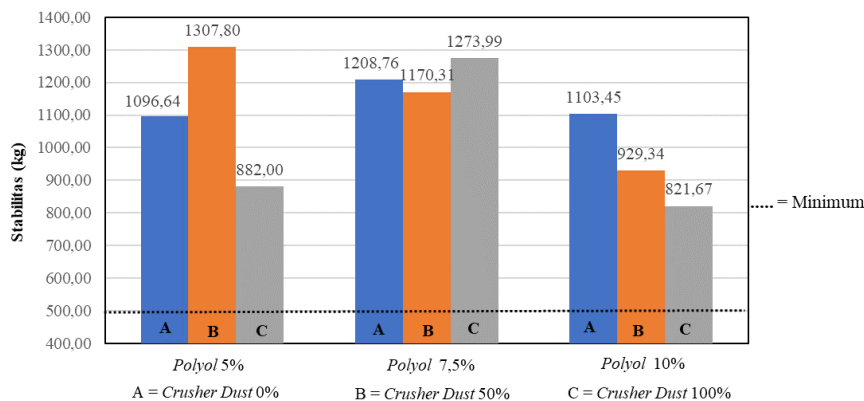
### **Campuran Beraspal Berpori dengan Penambahan *Crusher Dust* dan *Polyurethane***

Pengujian campuran beraspal berpori dengan penambahan *crusher dust* dan *polyol* menunjukkan hasil yang positif. Hasil yang didapatkan campuran beraspal berpori dengan *crusher dust* dan penambahan *polyol* dirujuk melalui Tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji campuran beraspal berpori dengan *crusher dust* dan penambahan *polyurethane*

No	Kadar <i>Crusher dust</i>	Kadar <i>Polyol</i>	Density	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Permeabilitas (cm/detik)	Porositas (%)
1	0%	5%	2,42	1096,64	6,00	0,035	16,12
2	0%	7,5%	2,44	1208,76	5,40	0,018	17,87
3		10%	2,41	1103,45	5,40	0,026	17,07
4		5%	2,40	1307,80	6,40	0,015	16,37
5	50%	7,5%	2,44	1170,31	5,80	0,021	17,78
6		10%	1,68	929,34	6,00	0,023	17,19
7		5%	2,42	882,00	5,20	0,021	14,60
8	100%	7,5%	2,41	1273,99	5,00	0,014	16,51
9		10%	2,43	821,67	5,60	0,020	16,64
Spesifikasi			>2	>500	2-6	>0,01	16-22

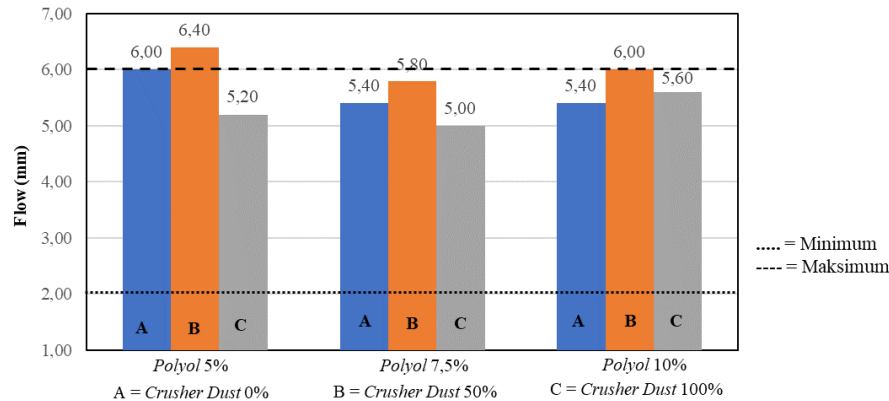
Tabel 6 menunjukkan hasil uji Marshall termasuk stabilitas, *flow*, permeabilitas, serta porositas dari campuran beraspal berpori dengan substitusi *crusher dust* dan *polyurethane*. Pengujian permeabilitas dilakukan untuk melihat kemampuan air untuk mengalir melewati campuran beraspal. Porositas dari campuran beraspal berpori diidentifikasi melalui pengujian *volumetric* yang menghasilkan nilai VIM (%). *Void In Mixture* (VIM) merupakan persentase pori atau celah udara yang termasuk dalam campuran tersebut, dan faktor dominan dalam campuran beraspal berpori, karena pori-pori ini digunakan sebagai pembanding dengan campuran aspal lain (Sihombing A, 2020). Pada Tabel 6 ditunjukkan bahwa semakin tinggi kadar limbah agregat yang digunakan nilai koefisien permeabilitas dan stabilitas yang dihasilkan semakin kecil. Hasil nilai stabilitas pada setiap variasi kadar *crusher dust* dan variasi kadar *polyurethane* dirujuk pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil nilai stabilitas

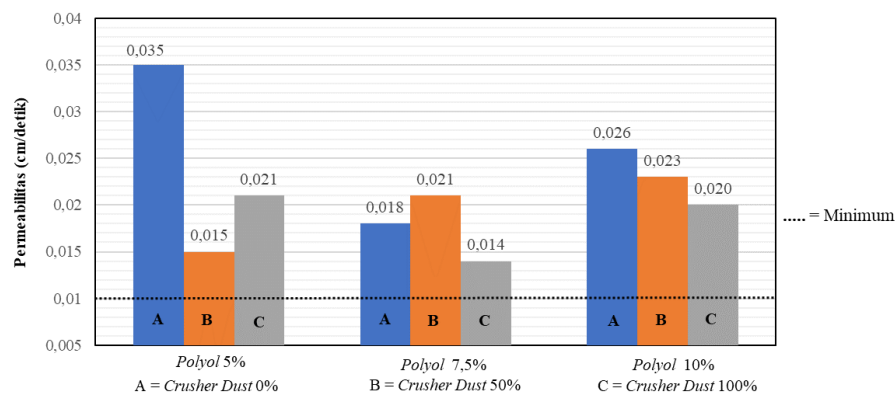
Gambar 2 menunjukkan hasil stabilitas dari setiap variasi kadar *crusher dust* dan variasi kadar *polyol*. Nilai stabilitas pada semua kadar memenuhi dari spesifikasi *Australian Road Standard* yaitu >500 kg (*Australian Road Standard*, 2002). Pada kadar limbah 0% nilai stabilitas terbesar terdapat pada penambahan *polyol* dengan kadar 7,5% sebesar 1208,76 kg tetapi mengalami penurunan sebanyak 105,31 kg pada variasi *polyol* 10%. Kadar *crusher dust* 50% dengan penambahan *polyol* 5% merupakan variasi dengan nilai stabilitas terbesar dari semua kadar yaitu 1307,80 kg dan mengalami penurunan secara berturut-turut pada kadar *polyol* 7,5% dan 10% dengan nilai 1170,31 kg dan 929,34 kg. Sedangkan nilai terbesar pada variasi *crusher dust* 100% terdapat pada penambahan 7,5% *polyol* yaitu

sebesar 1273,99 kg lebih tinggi dari kadar *polyol* 5% dan kembali mengalami penurunan pada kadar *polyol* 10%. Hal ini terjadi karena semakin banyak *polyol* dan *crusher dust* yang digunakan maka nilai stabilitas semakin kecil. Selain nilai stabilitas, terdapat nilai *flow* yang perlu dievaluasi dari hasil nilai yang sudah didapatkan dalam pengujian Marshall. Nilai *flow* merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan suatu campuran beraspal untuk bergerak secara plastis yang dikenakan tekanan atau beban di atasnya. Nilai *flow* dirujuk melalui Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengujian nilai *flow*

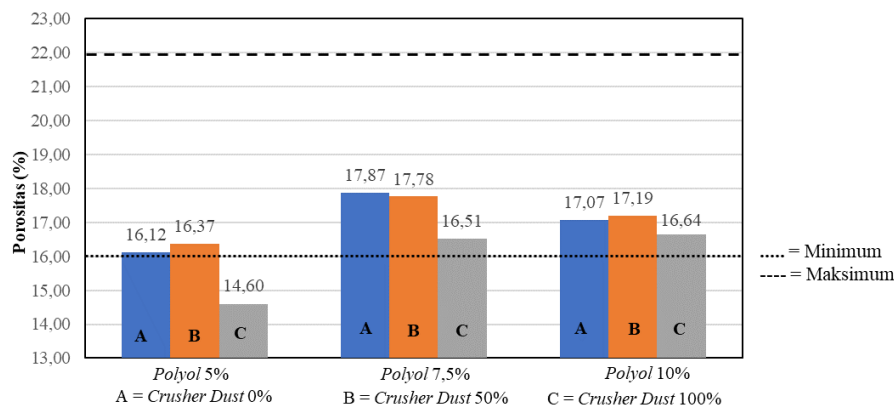
Gambar 3 menunjukkan nilai *flow* yang memenuhi spesifikasi *Australian Road Standard* yaitu 2- 6 mm. Pada kadar *crusher dust* 0% nilai *flow* terbaik terdapat pada penambahan kadar *polyol* 7,5% dan 10% dengan nilai kedua kadar tersebut 5,40 mm. Pada kadar *crusher dust* 50% dengan penambahan *polyol* 5% nilai yang diperoleh 6,40 mm, maka pada kadar tersebut tidak termasuk dalam spesifikasi yang ditentukan. Hal ini berbeda pada kadar *crusher dust* 100% dan penambahan *polyol* 5% nilai *flow* yang diperoleh sebesar 5,20 mm, mengalami penurunan pada kadar *polyol* 7,5% sebesar 5,00 mm, kemudian mengalami kenaikan nilai sebesar 5,60 pada kadar *polyol* 10%. Hal tersebut disebabkan oleh makin tinggi kadar *polyol* yang dipakai dan makin banyak *crusher dust* yang digunakan, maka nilai *flow* yang didapatkan akan semakin tinggi. Dalam perancangan campuran beraspal berpori selain melakukan pengujian Marshall, perlu juga adanya uji permeabilitas untuk mengetahui kapasitas suatu campuran beraspal berpori dalam penyerapan air. Hasil pengujian permeabilitas dengan tambahan *crusher dust* dan zat *polyol* dirujuk pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil pengujian permeabilitas



Gambar 4 menunjukkan bahwa seluruh kadar *crusher dust* dengan penambahan *polyol* telah memenuhi spesifikasi yaitu  $<0,01$  cm/detik. Hasil nilai permeabilitas tertinggi didapatkan pada kadar limbah 0% dengan penambahan *polyol* 5% sebesar 0,035 cm/detik. Pada kadar *crusher dust* 0% dengan penambahan *polyol* 10% memperoleh nilai tertinggi kedua yaitu 0,026 cm/detik. Nilai permeabilitas sebesar 0,023 cm/detik didapatkan pada kadar *crusher dust* 50% dengan penambahan *polyol* 10%. Pada kadar *crusher dust* 100% dengan penambahan *polyol* 5%, kadar *crusher dust* 50% dengan penambahan *polyol* 7,5% dan kadar *crusher dust* 100% dengan penambahan *polyol* 10% mendapatkan nilai hasil pengujian secara berturut-turut sebesar 0,021 cm/detik, 0,021 cm/detik dan 0,20 cm/detik. Nilai permeabilitas yang didapatkan pada kadar *crusher dust* 0% dengan penambahan *polyol* 7,5% mendapatkan hasil pengujian sebesar 0,018 cm/detik. Dengan nilai permeabilitas sebesar 0,015 cm/detik dan 0,014 cm/detik secara berturut-turut didapatkan pada kadar *crusher dust* 50% dengan penambahan *polyol* 5% dan kadar *crusher dust* 100% dengan penambahan *polyol* 7,5% mendapatkan nilai koefisien permeabilitas sebesar 0,014 cm/detik. Maka dapat diketahui bahwa semakin banyak kadar *crusher dust* dan zat *polyol* yang digunakan dapat menyebabkan menurunnya nilai permeabilitas pada campuran beraspal berpori. Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui penyerapan pada suatu campuran beraspal berpori yang dirujuk pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengujian Porositas

Gambar 5 menunjukkan nilai porositas yang didapatkan pada seluruh variasi kadar. Dari hasil yang ditunjukkan bahwa seluruh variasi kadar telah lolos dari kualifikasi yang ditentukan, kecuali pada kadar *crusher dust* 0% dan penambahan zat *polyol* 5%. Pada kadar tersebut tidak lolos dari kualifikasi yang ditentukan, karena hasil yang didapatkan kurang dari spesifikasi yang ditentukan.

## KESIMPULAN

Melalui penelitian yang sudah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya tambahan material *crusher dust* dan *polyol* pada campuran beraspal berpori dapat mempengaruhi nilai koefisien permeabilitas, stabilitas dan *flow*. Penambahan *crusher dust* dan *polyol* dapat meningkatkan nilai stabilitas sebesar 146%, dengan campuran beraspal tanpa bahan tambahan yaitu 1273,99 kg. Nilai tersebut didapatkan pada penambahan

*crusher dust* 100% dan *polyol* 7,5%. Pada kadar tersebut nilai *flow* yang didapatkan lebih rendah dari nilai campuran tanpa *crusher dust* sebesar 5,00 mm, nilai permeabilitas yang didapatkan sudah memenuhi kualifikasi yaitu 0,014 cm/detik, dan nilai porositas yang didapatkan pada kadar tersebut sebesar 16,51%.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Ibu Afni Kurniati Tambing, S.T. selaku asisten Laboratorium Teknik Sipil Universitas Pradita dan PT. Subur Brothers yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih juga kepada orang tua yang selalu memberikan doa, nasehat, dan dukungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- AAPA, 2004, National Asphalt Specification Second Edition, Australia.
- Noor Achmad, 2020, Analisis Pemilihan Alat Pemecah Batu (Stone Crusher) pada Proyek Pembangunan jalan, Makassar.
- Arlia, L., Saleh, S. M., dan Anggraini, R, 2018, Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70, Jurnal Teknik Sipil, 1(3), 657–666, 10.24815/jts.v1i3.10011.
- Australian Road Standar. (2002). Specifications for Porous Asphalt, Australia.
- Badan Standardisasi Nasional, 2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, Jakarta.
- Bina Marga, 2020, Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Perkerasan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2, Jakarta.
- Candra P.R, Siswanto Henri, & Rahardjo Boedi, 2021, Karakteristik Marshall Campuran Aspal Porous dengan Penambahan Polyurethane, Media Teknik Sipil, 19, <https://doi.org/10.22219/jmts.v19i1.14681>.
- NAPA, 2003, Design, Construction, and Maintenance Guide For Porous Asphalt Pavement, United State.
- Ramlan, R., 2016, Variasi Komposisi Gradasi Batuan terhadap Karakteristik Beton Aspal dengan Uji Marshall, Pena Teknik: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik, 1(1), 1–12.
- Sembung, N. T., Sendow, T. K., dan Palenewen, S. C., 2020, Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon, Jurnal Sipil Statik, 8(3).
- Sihombing, A. V. R., 2020, Pengaruh Penggunaan Agregat Dari Sumber Yang Berbeda Terhadap Kinerja Aspal Porus, Prosiding Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi, 169 (Institut Teknologi Sumatera, 23-24 Oktober).