

# ANALISIS VARIASI JUMLAH TUMBUKAN PADA KARAKTERISTIK ASPAL BERONGGA MENGGUNAKAN SUBSTITUSI LIMBAH BETON

(Analysis Of Compaction Variation on Porous Asphalt Characteristics Using Waste  
Concrete Substitution)

Maraden Yosua Hutapea<sup>1\*</sup>, Natsar Desi<sup>1</sup>, dan Sri Gusty<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Magister Rekayasa Infrastruktur Lingkungan Universitas Fajar.*

*\*Email: hutapeamaraden@gmail.com (penulis korespondensi)*

**ABSTRAK** : Indonesia merupakan wilayah yang rentan mengalami bencana seperti gempa dan banjir, yang mana gempa menghasilkan limbah beton akibat keruntuhan konstruksi. Daur ulang limbah beton meningkat sebagai respons terhadap peningkatan kesadaran lingkungan dan pertimbangan ekonomi. Substitusi agregat kasar merupakan sesuatu yang dapat menggantikan suatu benda utama dengan tidak mengubah fungsi dan kegunaan utamanya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran aspal berongga ATB menggunakan agregat alam dan untuk menganalisis variasi jumlah tumbukan pada campuran aspal berongga ATB menggunakan substitusi agregat kasar limbah beton 90% terhadap nilai stabilitas dan terhadap nilai ketahanan. Penelitian ini menggunakan spesifikasi Bina Marga 2018 untuk Campuran Asphalt Treated Base (ATB) Bina Marga. Setelah didapatkan hasil perhitungan pendekatan kadar aspal (Pb) maka akan dilakukan pengujian *Marshall* sehingga didapatkan nilai KAO sebesar 6%. Tahap selanjutnya dilakukan pengujian *Marshall* dan *Cantabro* yang menggunakan substitusi agregat kasar limbah beton 90% dengan variasi jumlah tumbukan 1x70, 1x80 dan 1x90. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 1x75 merupakan jumlah tumbukan terbaik karena memenuhi semua spesifikasi parameter nilai *Marshall* dengan nilai stabilitas tertinggi yaitu 889,00 Kg, dengan nilai kehilangan paling kecil yaitu 1,71% berdasarkan uji *Cantabro*. Jadi diketahui bahwa kestabilan dan ketahanan limbah beton menurun seiring penambahan jumlah tumbukan.

**Kata Kunci** : Limbah Beton, Aspal Berongga, KAO, Variasi Jumlah Tumbukan.

## I. PENDAHULUAN

Ide merekayasa sebuah infrastruktur muncul atas dorongan untuk memecahkan masalah yang terjadi di lingkungan sekitar, seperti masalah yang ditimbulkan oleh bencana alam yaitu banjir dan gempa. Gempa merupakan pergerakan lempengan bumi yang menghasilkan getaran dan perpindahan muka bumi yang menyebabkan runtuhnya struktur konstruksi bangunan, baik berupa gedung, jalan maupun jembatan. Dimana kita tahu salah satu struktur gedung, jalan dan jembatan terbuat dari beton, sehingga setelah gempa, beton tersebut menjadi puing-puing yang berserakan dan mengganggu aktifitas pembersihan atau rekonstruksi kembali sebuah daerah yang terdampak bencana. Oleh sebab itu daur ulang limbah beton meningkat sebagai respons terhadap peningkatan kesadaran lingkungan, legislasi, dan pertimbangan ekonomi.

Menurut [1] limbah beton adalah buangan atau sisa-sisa yang dihasilkan dari suatu proses penghancuran struktur beton, agar lebih bermanfaat dan tidak mengganggu lingkungan, maka limbah beton dapat didaur ulang menjadi agregat kasar sebagai bahan pembuatan campuran aspal berongga. Secara visual, limbah beton berupa material yang keras seperti layaknya agregat, tetapi apakah limbah beton juga memiliki karakteristik yang setara dengan agregat[2]. [3] Melakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar pada campuran aspal berongga, dengan variasi kadar limbah beton 0%, 15%, 50% dan 90%. Kemudian didapatkan bahwa campuran aspal dengan kadar limbah beton 90%

memiliki stabilitas paling tinggi dengan flow yang memenuhi nilai spesifikasi. Sehingga kadar limbah beton yang cenderung memenuhi kinerja Marshall yaitu 90%.

Aspal berongga adalah campuran aspal bergradasi terbuka (*Open Graded*) yang khas, terdiri dari agregat bergradasi seragam dan semen aspal atau pengikat yang dimodifikasi dan terutama digunakan sebagai lapisan drainase. Terdapat beberapa kelebihan dari campuran aspal porus, diantaranya adalah ketahanan terhadap selip yang lebih besar; meningkatkan penglihatan dikarenakan pengurangan cipratan dan siraman; pengaliran air yang cepat dari permukaan perkerasan dimana mengurangi waktu basah dari permukaan; makrotekstur yang standar dengan waktu layan yang panjang; mengurangi tingkat kebisingan bagi pengguna dan penduduk sekitar; mengurangi *rolling resistance*; mengurangi pemantulan cahaya, baik pada siang hari maupun malam hari; mengurangi pengaliran air ke jaringan saluran pembuangan; fleksibilitas tanpa *fatigue* atau *rutting* [4], sedangkan kekurangan dari campuran aspal jenis ini adalah stabilitas yang rendah; membutuhkan biaya yang mahal; mempunyai durabilitas yang rendah sehingga umur layanan dari perkerasan tersebut berkisar 7 hingga 10 tahun; peluang terjadinya pelapukan pada perkerasan sangat tinggi; bahaya penguraian perkerasan [5].

Aspal berongga adalah aspal yang dicampur dengan agregat tertentu yang setelah dipadatkan mempunyai 20% pori-pori udara dan umumnya memiliki nilai stabilitas *Marshall* yang lebih rendah dari beton aspal yang menggunakan gradasi rapat, stabilitas *Marshall* akan meningkat bila gradasi terbuka yang digunakan lebih banyak fraksi halus [6]. ATB merupakan campuran yang digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas tinggi, kemiringan yang curam, persimpangan dan daerah yang dilalui oleh beban roda kendaraan berat [7]. Oleh sebab itu untuk menambah stabilitas aspal berongga dapat digunakan standar gradasi ATB Bina Marga yang memiliki jumlah agregat halus lebih banyak dari aspal berongga biasa, kemudian penambahan jumlah pemadatan untuk meningkatkan stabilitas aspal berongga. ATB merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu [8].

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemadatan yaitu suhu pemadatan yang mana suhu akan mempengaruhi nilai parameter *Marshall* kemudian nilai parameter *Marshall* akan berpengaruh terhadap kualitas jalan [9], setelah itu susunan pencampuran agregat dan aspal, harus sesuai dengan perbandingan yang mengacu pada standar yang telah ditetapkan, jika gradasi yang digunakan tidak sesuai dengan perbandingan agregat maka akan dapat berpengaruh terhadap kualitas [10], kemudian selama pelaksanaan pemadatan, perlu diperhatikan beberapa faktor, yaitu: kecepatan pemadatan, jumlah lintasan, rentang waktu pemadatan, dan pola pemadatan. Masing-masing faktor tersebut memberikan pengaruh pada hasil pemadatan yang diperoleh [11]. Berdasarkan hal tersebut, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai Analisis Variasi Jumlah Tumbukan Pada Karakteristik Aspal Berongga Yang Menggunakan Substitusi Limbah Beton.

## II. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium dengan sistem pencampuran aspal serta menganalisis pengaruh dari stabilitas campuran aspal terhadap karakteristik *Marshall* dan ketahanan (*Cantabro*) aspal berongga dalam melayani beban lalu lintas. Adapun standar spesifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Asphalt Treated Base* (Bina Marga, 2018) [12] dan Standar Nasional Indonesia (SNI) [13] dan [14]. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar yaitu chipping dan Limbah beton (agregat kasar) split 1 – 2, Pasir (agregat halus) split 0,5 - 1, dan Abu Batu (*filler*) [15]. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu set saringan, mesin penggetar ayakan (*sieve shaker*), oven, timbangan dengan kapasitas 50 kg, panci pencampur, kompor pemanas, termometer, spatula, ejektor, *automatic asphalt compactor*, *marshall test*, dan mesin los angeles.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### III. 1 Rancangan Campuran Benda Uji

Aspal berongga didesain agar mempunyai porositas yang relatif lebih tinggi dibandingkan jenis perkerasan lain, sifat berongga ini diperoleh karena proporsi agregat halus lebih sedikit dibanding campuran jenis lain [16]. Aspal berongga menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) karena pengerjaannya dihamparkan pada permukaan lapis kedap air. Besarnya pori pada campuran aspal berongga berasal dari gradasi agregat yang dihasilkan. Berikut dibawah ini kombinasi penggabungan agregat kasar dan agregat halus.

Tabel 1. Rancangan Campuran Spesifikasi ATB Bina Marga.

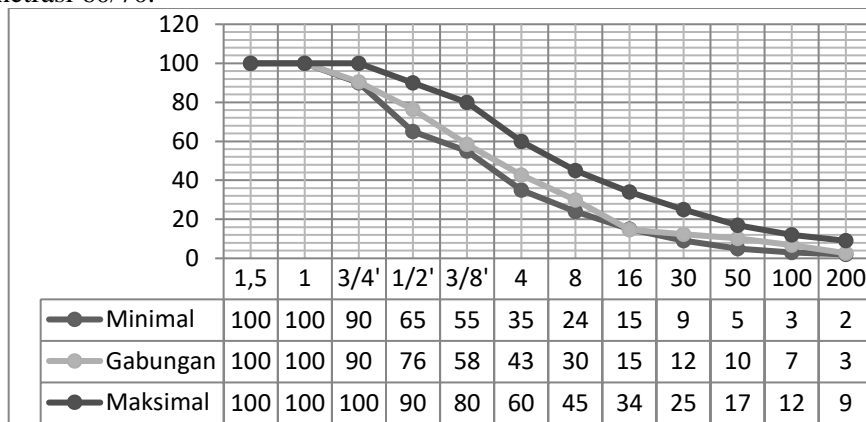
No Saringan	% Lolos Chipping	% Lolos Pasir	% Lolos Abu Batu	Chipping g 80%	Pasir 15%	Abu Batu 5%	Total Agregat	Spesifikasi
1	100,00	100,00	100,00	80,00	15,00	5,00	100	100
¾	88,00	100,00	100,00	70,40	15,00	5,00	90,40	90 – 100
½	70,33	100,00	100,00	56,26	15,00	5,00	76,26	65 – 90
3/8	48,00	100,00	100,00	38,40	15,00	5,00	58,40	55 – 80
4	28,33	100,00	95,00	22,66	15,00	4,75	42,41	35 – 60
8	12,67	100,00	67,00	10,14	15,00	3,35	28,49	24 – 45
16	0,00	85,00	46,00	0,00	12,75	2,30	15,05	15 – 34
30	0,000	70,00	31,00	0,00	10,50	1,55	12,05	9 – 25
50	0,00	61,00	24,00	0,00	9,15	1,20	10,35	5 – 7
100	0,00	39,00	17,00	0,00	5,85	0,85	6,70	3 – 12
200	0,00	16,00	5,00	0,00	2,40	0,25	2,65	2 – 9

Hasil gabungan saringan agregat dari hasil analisa saringan didapatkan bahwa agregat tertahan dan lolos saringan gabungan agregat memenuhi spesifikasi campuran ATB Bina Marga. Untuk selanjutnya dilakukan pembuatan komposisi agregat berdasarkan metode *Trial and Error*.

Tabel 2. Komposisi Campuran ATB Bina Marga.

NOMOR SARINGAN		1,5	1	¾'	½'	3/8'	4	8	16	30	50	100	200
<b>BATU PECAH</b>	<b>%PASS</b>	100	100	88	70	48	28	13	0	0	0	0	0
<b>80</b>	<b>%BACH</b>	80	80	70	56	38	23	10	0	0	0	0	0
<b>PASIR</b>	<b>%PASS</b>	100	100	100	100	100	100	100	82	72	61	40	16
<b>15</b>	<b>%BACH</b>	15	15	15	15	15	15	15	12	11	9	6	2
<b>ABU BATU</b>	<b>%PASS</b>	100	100	100	100	100	100	95	46	31	24	17	5
<b>5</b>	<b>%BACH</b>	5	5	5	5	5	5	5	2	2	1	1	0
<b>AGREGAT</b>		100	100	90	76	58	43	30	15	12	10	7	3
<b>GABUNGAN</b>		100	100	90 - 100	65- 90	55- 80	35- 60	24- 45	15 - 34	9- 25'	5- 17'	3- 12'	2- 9'

Adapun presentase pada masing-masing agregat yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat kasar 80% , agregat halus 15% dan filler adalah 5% menggunakan pengikat aspal minyak penetrasi 60/70.

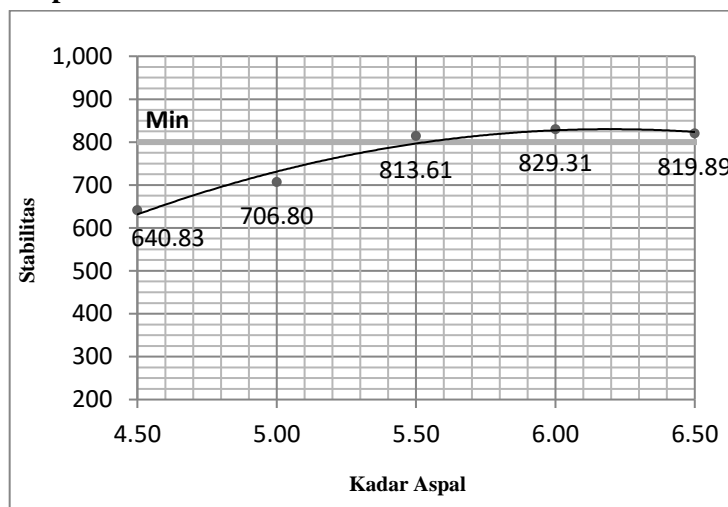


Gambar 1. Grafik kontrol gradasi gabungan.

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada gradasi gabungan agregat pada penelitian ini telah memenuhi nilai pada Spesifikasi ATB Bina Marga. Hal ini diketahui karena garis oranye yang adalah garis gradasi gabungan tidak melewati garis biru yang merupakan batas gradasi minimum dan garis kuning merupakan batas gradasi maksimum dari spesifikasi campuran ATB, sehingga *Mix Design* pada benda uji dapat dilakukan.

Berdasarkan pendekatan kadar Aspal yang didapatkan adalah 5,5% dengan mengambil dua kadar aspal dibawah dan dua kadar aspal diatas menggunakan interval 0,5% maka nilai tersebut adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%. Nilai kadar aspal tersebut dijadikan nilai kadar aspal awal untuk penentuan kadar aspal optimum dengan melakukan pengujian *marshall* berdasarkan metode *Bar Chart*. Dari gambar kurva hubungan parameter *Marshall* dengan kadar Aspal untuk penentuan campuran ATB Standar dapat diuraikan sebagai berikut:

### Stabilitas Kadar Aspal

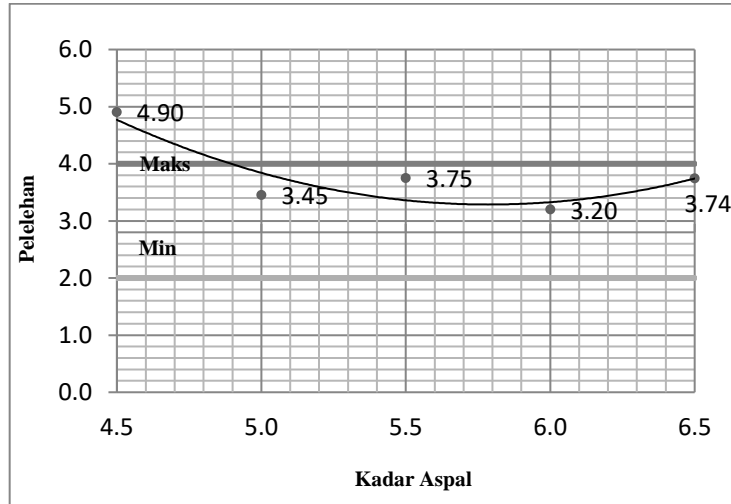


Gambar 2. Hubungan kadar aspal dengan stabilitas.

Dari gambar 2 Dapat diketahui hubungan kadar aspal dengan stabilitas. Kadar aspal yang memenuhi nilai stabilitas min. 800 kg dari spesifikasi Bina Marga, 2018 berada pada kadar aspal 5,5% sampai 6,5%. Grafik hubungan antara Stabilitas terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa

semakin rendah kadar aspal maka semakin rendah nilai stabilitas campuran kemudian stabilitas semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal sampai ketitik puncaknya di kadar aspal 6%, setelah itu stabilitas mengalami penurunan pada kadar aspal 6,5%.

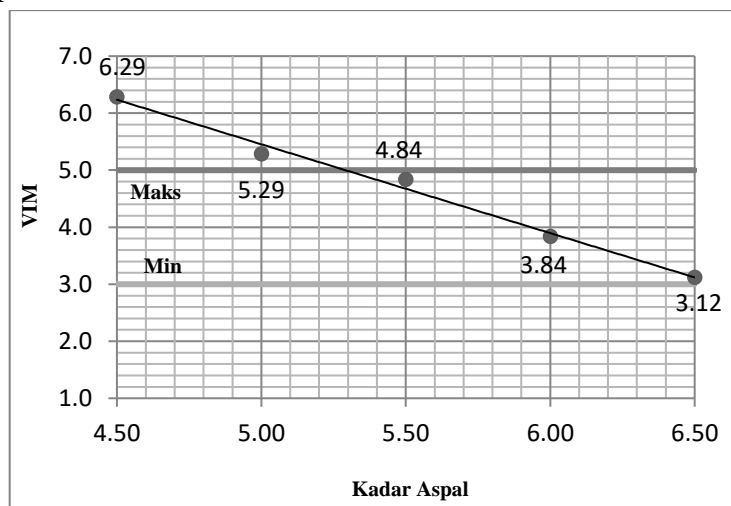
### Pelelehan Kadar Aspal



Gambar 3. Hubungan kadar aspal dengan pelelehan.

Dari gambar 3 Dapat diketahui hubungan kadar aspal dengan Flow. Adapun batas minimum flow bina marga, 2018 adalah 1 dan batas maksimum 4, dari hasil pengujian kadar aspal yang memenuhi spesifikasi berada pada kadar aspal 4,9% sampai 6%. Grafik hubungan antara Pelelehan terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa pada kadar aspal terendah nilai Pelelehan tinggi, kemudian setelah mengalami kenaikan kadar aspal, nilai Pelelehan semakin menurun sampai ke kadar aspal 6% kemudian mengalami kenaikan kembali.

### VIM Kadar Aspal

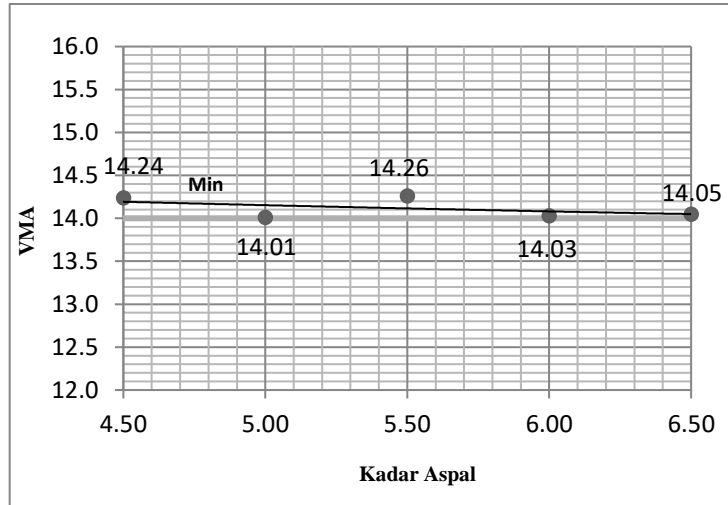


Gambar 4. Hubungan kadar aspal dengan VIM.

Dari gambar 4 dapat diketahui hubungan kadar aspal dengan VIM. Adapun batas minimum VIM spesifikasi Bina Marga, 2018 yaitu 3% dan batas maksimum 5%. Grafik hubungan antara VIM

terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa dengan kadar aspal rendah, maka nilai VIM menjadi tinggi. Namun dengan bertambahnya kadar aspal nilai VIM semakin rendah.

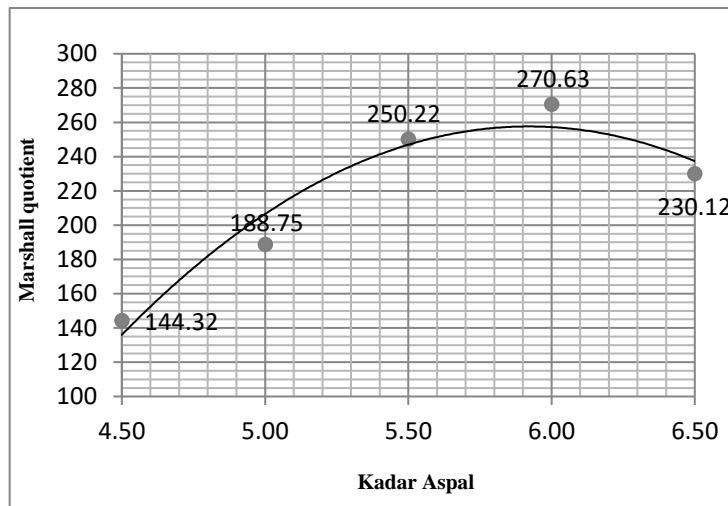
### VMA Kadar Aspal



Gambar 5. Hubungan kadar aspal dengan VMA.

Dari gambar 5 Dapat diketahui hubungan kadar aspal dengan VMA. Adapun standard minimum VMA spesifikasi Bina Marga yaitu 14%. Grafik hubungan antara VMA terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa nilai vma pada masing-masing kadar aspal hampir seimbang, tetapi nilai VMA terbaik pada kadar aspal 5,5%.

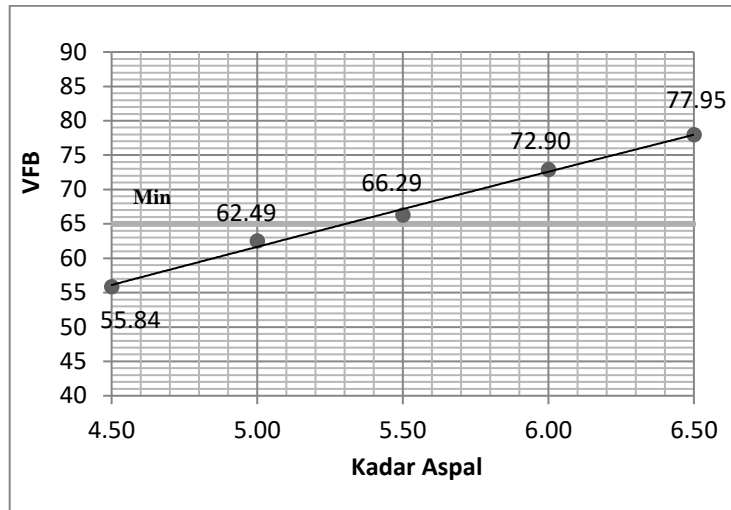
### MQ Kadar Aspal



Gambar 6. Hubungan kadar aspal dengan MQ.

Dari gambar 6 Dapat dilihat hubungan kadar aspal dengan MQ. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, 2018 tidak ada mengatur hasil spesifikasi batas minimum dan maksimum Marshall Quotient. Grafik hubungan antara Marshall Quotient menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai MQ akan semakin bertambah sampai pada titik tertinggi dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal.

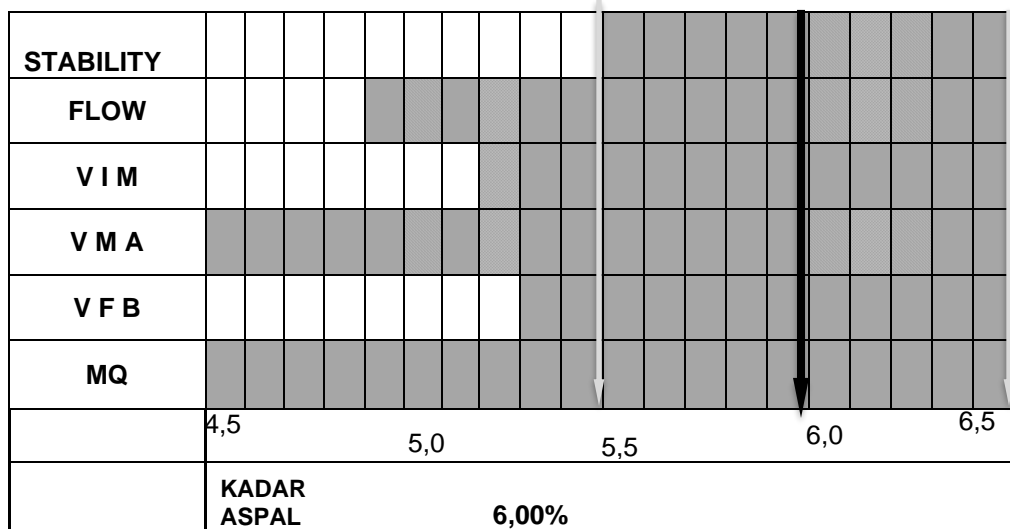
### VFB Kadar Aspal



Gambar 7. Hubungan kadar aspal dengan VFB.

Dari gambar 7 Dapat dilihat hubungan kadar aspal dengan VMA. Adapun batas minimum VFB atau rongga terisi aspal adalah 65%. Grafik hubungan antara VFB terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai VFB juga makin tinggi karena rongga terisi aspal.

Tabel 3. Hasil Uji Kadar Aspal Berdasarkan Parameter *Marshall*



Berdasarkan hasil grafik diatas dimasukkan ke dalam *Bar Chart* kemudian ditarik garis yang memenuhi spesifikasi garis ambat batas bawah dan ambang batas atas kemudian didapatkan garis tengah aspal sebagai kadar aspal optimum (KAO) adalah 6%

### 3. 2 Proporsi Agregat Alam dan Agregat Limbah Beton

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Cynthia, 2021 mengenai substitusi limbah beton sebagai agregat kasar pada campuran aspal berongga, dengan variasi kadar limbah beton 0%, 15%, 50% dan 90%. Kemudian didapatkan bahwa campuran aspal dengan kadar limbah beton 90% memiliki stabilitas paling tinggi dengan flow yang memenuhi nilai spesifikasi.

Tabel 4. Proporsi Perbandingan Agregat Alam dan Limbah Beton

ti	Ukuran Saringan (mm)	Agregat Total (0% Limbah Beton)		Variasi Agregat Alam Dan Limbah Beton			
				Agregat		Limbah Beton	
		%	Gram	%	Gram	90%	Gram
1,5	37,5	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
1	25	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
3/4"	19,00	9,02	108,29	0,08	2,99	11,67	105,30
1/2"	12,50	13,29	159,42	0,62	24,12	15,00	135,30
3/8"	9,50	16,79	201,54	0,93	36,24	18,33	165,30
4	4,75	15,03	180,40	1,16	45,10	15,00	135,30
8	2,36	13,08	156,98	0,56	21,68	15,00	135,30
16	1,18	13,04	156,43	0,54	21,13	15,00	135,30
30	0,60	2,17	26,04	0,67	26,04	-	-
50	0,30	1,92	23,07	0,59	23,07	-	-
100	0,15	3,29	39,48	1,02	39,48	-	-
200	0,075	3,88	46,53	1,20	46,53	-	-
PAN		2,48	29,82	0,77	29,82	-	-
Kadar Aspal		6,00	72,00	1,85	72,00	-	-
Jumlah		100,00	1200,00	10,00	388,20	90,00	811,80

Pada Tabel 4 merupakan tabel yang menunjukkan kadar perbandingan dari agregat alam yang telah disubstitusi pada saringan nomor 3/4", 1/2", 3/8". 4, 8, dan 16 dengan kadar substitusi sebesar 90% dengan mengikuti spesifikasi campuran ATB Bina Marga. Substitusi agregat alam ke agregat limbah beton dilakukan dengan cara menghitung berat keseluruhan agregat pada nomor saringan yang akan disubstitusi, kemudian dilakukan penggantian agregat limbah beton dengan cara mengkonversi berat agregat limbah beton kepersen agregat alam.

### 3.3 Pengujian Marshall Benda Uji

Tabel hasil uji *Marshall* pada benda uji dapat diketahui pengaruh substitusi agregat alam menjadi agregat limbah beton kadar 90% dengan variasi jumlah tumbukan 2 x 75, 2x 80 dan 2 x 90 pada campuran ATB, dengan waktu perendaman aspal selama 24 jam kemudian direndam 30 menit pada suhu 60°C pada water bath sebelum diuji menggunakan alat Marshall, berdasarkan acuan SNI.

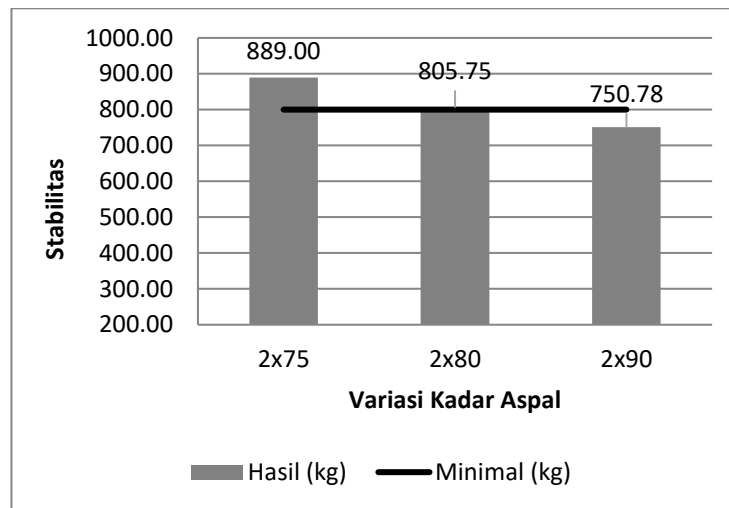
Tabel 5. Nilai hasil *Marshall* Benda Uji

No	Parameter Pengujian	VARIASI JUMLAH TUMBUKAN SUBSTITUSI AGREGAT KASAR LIMBAH BETON 90%			Spesifikasi
		2X75 Tumbukan	2X75 Tumbukan	2X75 Tumbukan	
1	Stabilitas	889,00	805,75	750,78	> 800
2	Kelelahan	3,35	2,96	2,67	2 – 5
3	MQ	266,67	272,73	283,62	-
4	VIM	3,22	3,02	1,15	3 – 5
5	VMA	14,84	14,66	13,02	> 14
6	VFB	79,85	79,60	91,37	> 65



Berdasarkan Tabel 5 Nilai pelelehan mengalami penurunan, akibat penguncian yang baik antara partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal di dalam pori limbah beton, pengaruh dari penambahan jumlah tumbukan. Nilai MQ tertinggi pada jumlah tumbukan 2 x 90 hal itu disebabkan karena nilai Flow pada jumlah tumbukan tersebut yang paling rendah. Sehingga dapat diketahui yaitu semakin bertambah jumlah tumbukan atau pemadatan maka nilai specimen VIM (rongga dalam campuran) akan semakin kecil. Dimana kadar aspal efektif cenderung memenuhi rongga campuran akibat penambahan jumlah pemadatan, akibat meningkatnya jumlah aspal yang mengisi VMA. Seluruh variasi jumlah tumbukan memenuhi nilai spesifikasi VFB, Faktor yang mempengaruhi rendah atau tingginya nilai bitumen pada campuran dan partikel yaitu suhu saat pencampuran dan saat pemadatan karena hal tersebut mempengaruhi kecepatan daya serap partikel sehingga berpengaruh terhadap nilai kepadatan campuran atau disebabkan oleh nilai VIM yang kecil yang mempengaruhi nilai VFB pada campuran aspal.

### Stabilitas



Gambar 8. Variasi tumbukan terhadap stabilitas.

Berdasarkan data yang diperoleh, jumlah tumbukan 2 x 75 dan 2 x 80 telah memenuhi spesifikasi, sedangkan jumlah tumbukan 2 x 90 tidak memenuhi spesifikasi. Adapun Jumlah tumbukan 2 x 75 memiliki nilai stabilitas tertinggi di antara variasi jumlah tumbukan lainnya kemudian stabilitas terendah diperoleh pada jumlah tumbukan 2 x 90. Dari pembacaan grafik dapat diketahui bahwa seiring dengan penambahan jumlah tumbukan, maka nilai stabilitas semakin menurun. Hal ini akibat nilai keausan pada agregat limbah beton sedikit lebih tinggi dibanding agregat alami, karena agregat limbah beton pernah tercampur semen sehingga getas, yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas kekuatan pada agregat limbah beton, sehingga agregat mudah terlepas dari perkerasan yang menjadikan stabilitas perkerasan menjadi menurun. Stabilitas merupakan kemampuan aspal dalam menerima beban tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*.

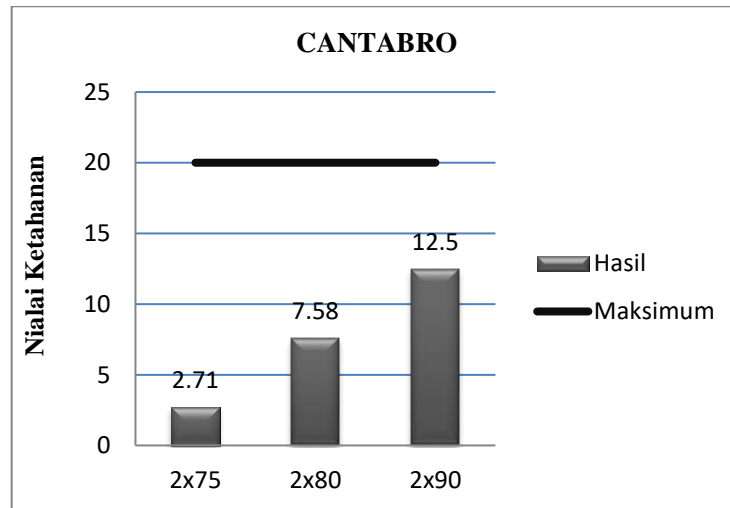
### 3. 4. Pengujian Cantabro

Pengujian *Cantabro* menunjukkan hasil pengujian yang dilakukan akibat pelepasan butir agregat yang menyebabkan menurunnya kelekatan aspal karena gesekan roda kendaraan secara berulang menggunakan mesin Los Angeles. Tujuan benda uji diputar dalam drum mesin Los Angeles agar dapat diketahui keausan campuran aspal dalam menerima beban di atasnya berdasarkan nilai ketahanan aspal berongga selama 300 putaran, agar dapat diketahui persentase kehilangan berat sisa aspal terhadap ketahanan aspal berongga, menggunakan mesin Los Angeles tanpa bola baja.

Tabel. 6. Hasil uji kao 6% ATB Bina Marga Kadar Limbah Beton 90%

Variasi Substitusi Limbah Beton	Sampel No.	Kadar Aspal %	Berat Sebelum Pengujian (Mo) Kg	Berat Setelah Pengujian (Mi) Kg	Kehilangan Berat G (Gram)	Rata-Rata Kehilangan Berat		Nilai Rata-Rata %
						$\frac{(Mo - Mi)}{Mo}$	X 100	
2x75 Tumbukan	1	6	1231	1227	4	0,32	2,71	
	2		1232	1193	39	3,17		
	3		1249	1191	58	4,64		
2x80 Tumbukan	1	6	1215	1121	94	7,74	7,58	
	2		1186	1082	104	8,77		
	3		1201	1126	75	6,24		
2x90 Tumbukan	1	6	1203	1044	159	13,22	12,5	
	2		1194	1037	157	13,15		
	3		1241	1103	138	11,12		

### Cantabro



Gambar 9. Variasi tumbukan terhadap ketahanan.

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat diketahui bahwa seluruh variasi jumlah tumbukan memenuhi spesifikasi [14]. Dapat diketahui bahwa jumlah tumbukan 2 x 75 memiliki ketahanan yang terbaik karena memperoleh jumlah kehilangan yang kecil. Nilai ketahanan pada campuran beraspal berpengaruh terhadap umur dari perkerasan, sehingga dapat diketahui bahwa jumlah tumbukan 2 x 75 memiliki umur perkerasan yang lebih lama. Hasil keseluruhan grafik dapat kita ketahui bahwa kekuatan agregat limbah beton mengalami penurunan saat dipadatkan, karena ketahanan abrasi limbah beton lebih rendah dibanding agregat alam yang baru.

### IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian kadar aspal campuran aspal berongga ATB Bina Marga, berdasarkan kinerja *Marshall* diperoleh data bahwa adalah kadar aspal 5,5% sampai 6,5% memenuhi seluruh spesifikasi, kemudian setelah ditarik garis tengah sesuai hasil perhitungan didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum yaitu 6%. Pengujian Cantabro pada campuran ATB Bina Marga substitusi agregat limbah beton 90% diperoleh hasil bahwa seluruh jumlah variasi tumbukan memenuhi

spesifikasi SNI dengan persyaratan maksimal kehilangan campuran yaitu 20% dari 100% jumlah benda uji. Untuk nilai ketahanan terbaik didapatkan pada jumlah tumbukan 2x75.

#### REFERENSI

- [1] B. Wilujeng Kurnia, "Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Bhan Campuran Aspal Porus," hal. 55, 2004, [Daring].
- [2] P. Turnip, "pemanfaatan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton," *untag, Repos.*, 2016.
- [3] J. Cynthia, "Studi Substitusi Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Campuran Aspal Berongga," *Fajar, Univ.*, vol. x, no. x, hal. 1–9, 2021.
- [4] C. Kraemer, *Porous Asphalt. past and present*. Madrid: european conference on porous asphalt, 1997.
- [5] Falderika, "Evaluasi Modulus Resilien dan Deformasi Permanan Campuran Aspal Porus Pen 60 / 70 dengan Bahan Tambah Buton Natural Asphalt ( BNA ) Evaluation of Resilien Modulus and Permanent Deformation of Mixture Porus Asphalt Pen 60 / 70 and Buton Natural Asphalt ( BN," no. Dibya, 2004.
- [6] J. R. D. J. G. Cabrera, *Kinerja dan Daya Tahan Campuran Beraspal*. LEEDS: proceedings of symposium, 1994.
- [7] A. A. Alamsyah *et al.*, "Pemanfaatan Abu Ampas Tebu (Bagasse Ash of Sugarcane) Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Dengan Variasitumbukanpada Campuran Aspal Panas Atb (Asphalt Ttreatd Base)," *Seminar Nasional Teknologi. dan Rekayasa*, hal. 1–10, 2017.
- [8] M, "Campuran Beton Aspal", hal. 2, 1983.
- [9] P. Sugiarto, P. Pratomo, dan R. Sulistyorini, "Efek Pengaruh Temperatur Pematatan Pada Campuran Untuk Perkerasan Lapis Aus," *J. Rekayasa Sipil ...*, vol. 4, no. 3, hal. 513–522, 2016, [Daring]. Tersedia pada: <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/view/467>.
- [10] Yuliansyah, "Kepadatan Campuran dengan Variasi Tumbukkan," vol. 3, no. 2, hal. 249–260, 2015.
- [11] Modul 2, "Modul\_2D2\_-\_Pelaksanaan\_Pengaspalan." BPSDM PU, Bandung, hal. 2, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <https://bpsdm.pu.go.id>.
- [12] Spesifikasi Umum Bina Marga, "Spesifikasi Umum 2018," *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, no. September, 2018.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, "Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall," *Sni 06-2489-1991*, no. 1, hal. 7, 1991.
- [14] SNI 03-2417, "SNI 03-2417-1991, Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles.," *Balitbang PU*, hal. 1–5, 1991.
- [15] SNI 1970, "Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus," *Badan Standar Nas. Indones.*, hal. 7.18, 2008, [Daring]. Tersediapada: <http://sni.litbang.pu.go.id/index.php?r=/sni/new/sni/detail/id/195>.
- [16] M. Setiawan, Arief., Hendrik., "DENGAN AGREGAT DARI LOLI DAN TAIPA," no. August, hal. 22–24, 2014.

Halaman ini sengaja dikosongkan