

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

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

<sup>1</sup> Mahasiswa dan Dosen Magister Rekayasa Infrastruktur Lingkungan Universitas Fajar.

\*[maradenyosuahutapea@gmail.com](mailto:maradenyosuahutapea@gmail.com)

**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 tanpa mengubah fungsi dan kegunaan utamanya. Tujuan 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. Hasil penelitian menyatakan bahwa 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.

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

**Abstract:** Indonesia is a region prone to earthquakes and floods, where earthquakes produce concrete waste due to construction collapse. Recycling of waste concrete is increasing due to environmental awareness and economic considerations. Coarse aggregate substitution can replace a main object without changing its primary function and use. The purpose of this study was to determine the amount of Optimum Asphalt Content (KAO) in the ATB hollow asphalt mixture using natural aggregates and to analyze the variation in the number of collisions on the ATB hollow asphalt mixture using 90% concrete waste coarse aggregate substitution for the stability value and for the resistance value. This study uses the 2018 Bina Marga specifications for Bina Marga Asphalt Treated Base (ATB) Mixtures. The study's results stated that the results of testing the asphalt content of the ATB Bina Marga hollow asphalt mixture, based on Marshall's performance, data were obtained that the asphalt content of 5.5% to 6.5% fulfilled all specifications. After the centre line was drawn according to the calculation results, the value of Optimum Asphalt Content was obtained. i.e. 6%. The Cantabro test on the ATB Bina Marga mixture of 90% concrete waste aggregate substitution showed that the collision variations complied with SNI specifications with a maximum loss of mixture of 20% of 100% of the specimens tested for the best resistance value obtained at the number of collisions 2x75.

**Keywords:** Concrete Waste, Hollow Asphalt, KAO, Impact Variation.

## 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. 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 porous, diantaranya adalah menghilangkan perencanaan air; 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. ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemadatan yaitu suhu pemadatan sangat mempengaruhi nilai parameter *Marshall*. Nilai parameter *Marshall* akan berpengaruh terhadap kualitas jalan[8], 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 dapat mempengaruhi kualitas [9], dan selama pelaksanaan pemadatan, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu: kecepatan pemadatan, jumlah lintasan, rentang waktu pemadatan, dan pola pemadatan. Masing-masing faktor tersebut memberikan pengaruh pada hasil pemadatan yang diperoleh [10].

Berdasarkan hal tersebut diatas, 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) [11] dan Standar Nasional Indonesia (SNI) [12] dan [13]. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar yaitu chipping dan Limbah Beton (agregat kasar) split 1 - 2 dan 0,5 - 1, Pasir (agregat halus) dan Abu Batu (*filler*) [14]. 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, thermometer, spatula, ejektor, automatic asphalt compactor, *marshall test*, dan mesin los angeles.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Rancangan campuran Benda Uji

Aspal porous 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]. Berikut dibawah ini kombinasi penggabungan agregat kasar dan agregat halus. Oleh sebab itu untuk menambah stabilitas aspal berongga dapat digunakan gradasi ATB Bina Marga. 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.

Tabel 1. Rancangan Campuran Spesifikasi ATB Bina Marga

No Saringan	% Lolos Chipping	% Lolos Pasir	% Lolos Abu Batu	Chipping	Pasir	Abu Batu	Total Agregat	Spesifikasi
				80%	15%	5%		
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

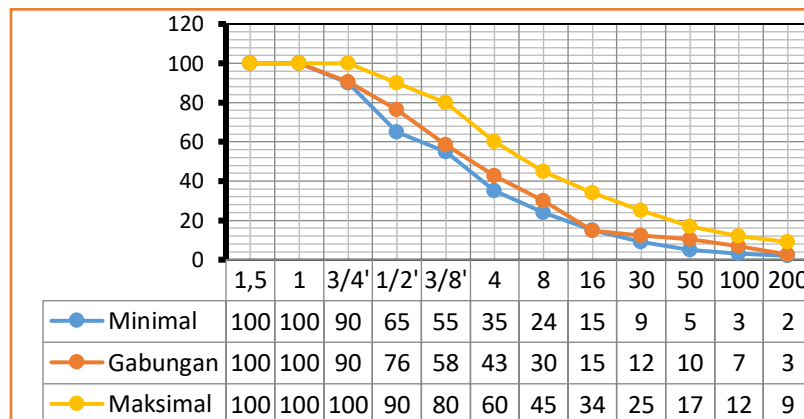
Sumber : Olah Data, 2021

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*.

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.

Tabel 2. Komposisi Campuran ATB Bina Marga.

Nomor Saringan		1,5	1	3/4'	1/2'	3/8'	4	8	16	30	50	100	200
Batu Pecah	%Pass	100	100	88	70	48	28	13	0	0	0	0	0
	%BACH	80	80	70	56	38	23	10	0	0	0	0	0
Pasir	%Pass	100	100	100	100	100	100	100	82	72	61	40	16
	%BACH	15	15	15	15	15	15	15	12	11	9	6	2
Abu Batu	%Pass	100	100	100	100	100	100	95	46	31	24	17	5
	%BACH	5	5	5	5	5	5	5	2	2	1	1	0
Agregat		100	100	90	76	58	43	30	15	12	10	7	3
Gabungan		100	100	90-100	65-90	55-80	35-60	24-45	15-34	9-25'	5-17'	3-12'	2-9'

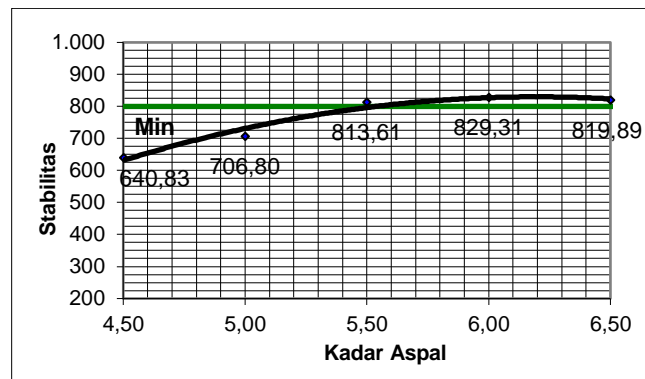


Gambar 1. Grafik kontrol Gradasi gabungan

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:

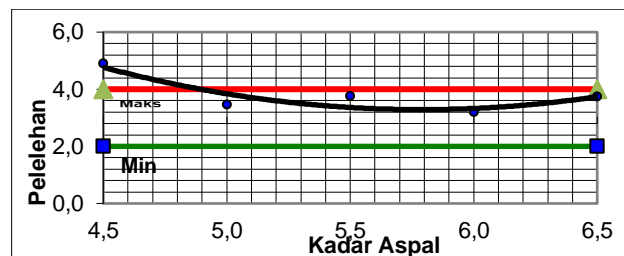
## B. Stabilitas Kadar Aspal



Gambar 2. Hubungan Kadar aspal dengan Stabilitas.

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%.

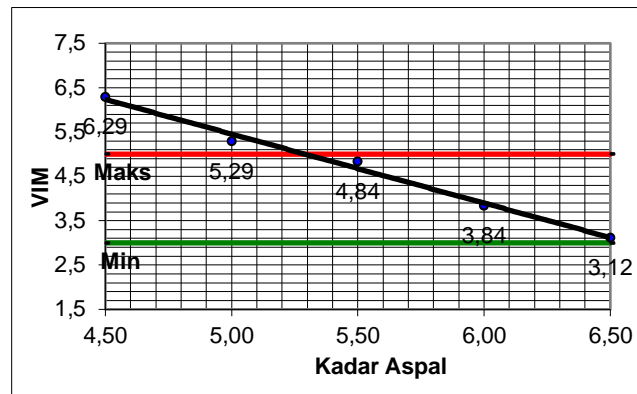
## C. Pelelehan Kadar Aspal



Gambar 3. Hubungan Kadar aspal dengan Pelelehan

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.

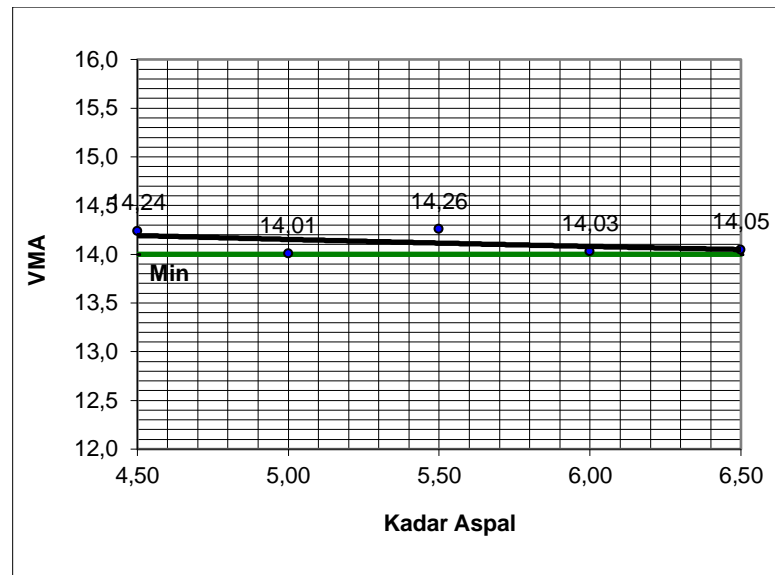
## D. VIM Kadar Aspal



Gambar 4. Hubungan Kadar aspal dengan VIM

Grafik hubungan antara VIM terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa dengan kadar aspal rendah, maka nilai VIM menjadi tinggi. Namun dengan bertambah nya kadar aspal nilai VIM semakin rendah.

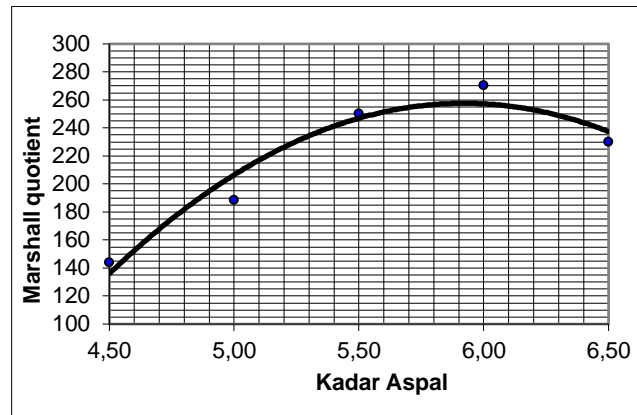
#### E. VMA Kadar Aspal



Gambar 5. Hubungan Kadar aspal dengan VMA

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%.

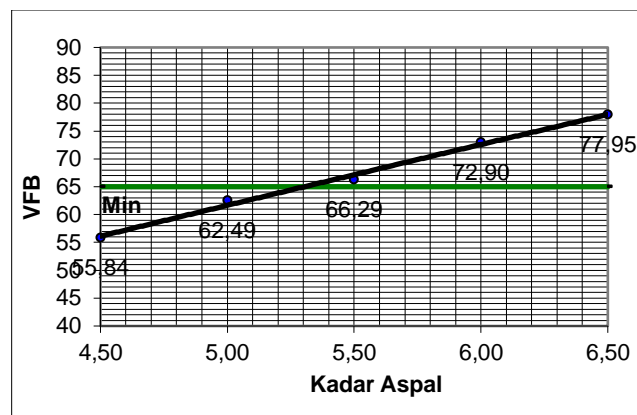
#### F. MQ Kadar Aspal



Gambar 6. Hubungan Kadar aspal dengan MQ

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.

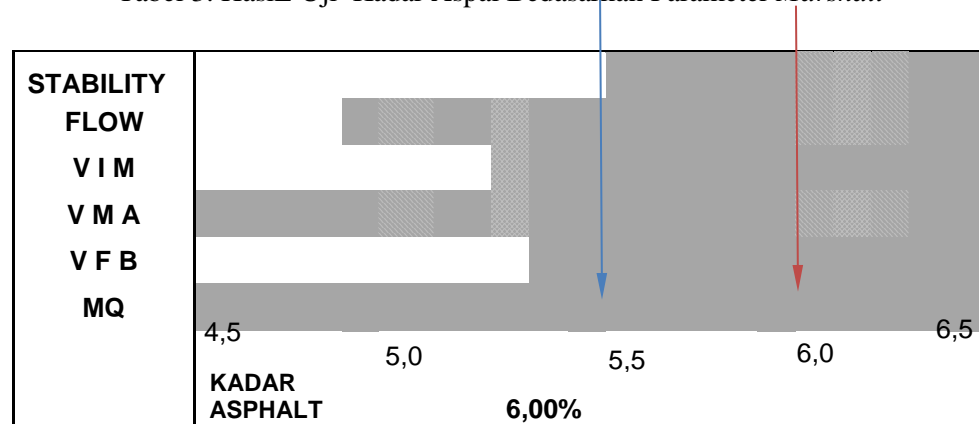
#### G. VFB Kadar Aspal



Gambar 7. Hubungan Kadar aspal dengan VFB

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*



Sumber : Olah Data, 2021

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%.

## H. 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

No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Agregat Total (0% Limbah Beton)		Variasi Agregat Alam Dan Limbah Beton			
		%	Gram	Agregat		Limbah Beton	
				%	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
Berat Total (gr)	1 Sampel	1200		388,20		811,80	
	2 Sampel	2400		776,40		1623,60	
	3 Sampel	3600		1164,60		2435,40	

Sumber: Hasil uji laboratorium, 2021

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.

### I. 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.

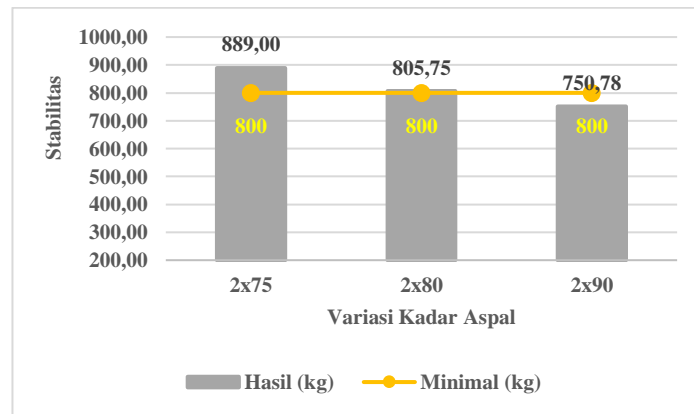
Tabel 5. Nilai hasil *Marshall* benda uji

No	Parameter Pengujian	Variasi Jumlah Tumbukan Substitusi Agregat Kasar Limbah Beton 90%			Spesifikasi
		2X75	2X75	2X75	
		Tumbukan	Tumbukan	Tumbukan	
1	Stabilitas	889,00	805,75	750,78	> 800
2	Kelelehan	3,35	2,96	2,67	□□□□□
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

Sumber: Hasil uji laboratorium,2021

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 3. Nilai Kadar Aspal Optimum

Adapun Jumlah tumbukan 2 x 75 memiliki nilai stabilitas tertinggi di antara variasi tumbukan kemudian stabilitas terendah diperoleh pada jumlah tumbukan 2 x 90. Dari pembacaan grafik dapat diketahui seiring dengan penambahan jumlah tumbukan, maka nilai stabilitas semakin menurun. Stabilitas merupakan kemampuan aspal dalam menerima beban tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding. Hal ini disebabkan karena nilai keausan pada agregat limbah beton sedikit lebih tinggi dibanding agregat alami, sehingga terjadi penurunan kualitas kekuatan pada agregat limbah beton akibat penambahan jumlah tumbukan, yang menyebabkan perkerasan tidak stabil saat menerima beban lalu lintas.

### Pengujian Cantabro

Pengujian *Cantabro* menunjukkan hasil pengujian yang dilakukan akibat pelepasan butir agregat akibat 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

sisas aspal terhadap ketahanan aspal berongga, menurut metode SNI 03-2417-1991 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	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat	Rata-Rata Kehilangan Berat		Nilai Rata-Rata
						$\frac{(Mo - Mi)}{Mo}$	X 100	
%	No.	%	Kg	Kg	G (Gram)	%		%
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		

Sumber : Olah Data, 2021

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 ketahan terbaik didapatkan pada jumlah tumbukan 2x75.

#### REFERENSI

- [1] B. Wilujeng Kurnia, "Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Bhan Campuran Aspal Porus," hal. 55, 2004, [Daring]. Tersedia pada: <http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>.
- [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 Permanen Campuran Aspal Porus Pen 60 / 70 dengan Bahan Tambah Buton Natural Asphalt ( BNA ) Evaluation of Resilien Modulus and Permanent Deformation of Mixture Porus Aspal 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 Ath (Asphalttreatd Base),” *Semin. Nas. Teknol. dan Rekayasa*, hal. 1–10, 2017.
- [8] P. Sugiarto, P. Pratomo, dan R. Sulistyorini, “Efek Pengaruh Temperatur Pemadatan 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>.
- [9] Yuliansyah, “Kepadatan Campuran dengan Variasi Tumbukkan,” vol. 3, no. 2, hal. 249–260, 2015.
- [10] Modul 2, “Modul\_2D2\_-\_Pelaksanaan\_Pengaspalan.” BPSDM PU, Bandung, hal. 2, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <https://bpsdm.pu.go.id>.
- [11] Spesifikasi Umum Bina Marga, “Spesifikasi Umum 2018,” *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, no. September, 2018.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, “Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall,” *Sni 06-2489-1991*, no. 1, hal. 7, 1991.
- [13] SNI 03-2417, “SNI 03-2417-1991, Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles,” *Balitbang PU*, hal. 1–5, 1991.
- [14] SNI 1970, “Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus,” *Badan Standar Nas. Indones.*, hal. 7–18, 2008, [Daring]. Tersedia pada: <http://sni.litbang.pu.go.id/index.php?r=/sni/new/sni/detail/id/195>.