

## Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap Hasil Marshall Untuk AC-BC

### *Effect of Adding Styrofoam Waste on Marshall Results for AC-BC*

Roy Anggara<sup>1)</sup>, Rizky Franchitika<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Komputer,  
Universitas Harapan Medan, Indonesia. JL. H.M. JONI NO. 70C MEDAN  
Telp. (061) 7366804 Website: [unharharapan.ac.id](http://unharharapan.ac.id)  
E-mail: [royanggaran1807@gmail.com](mailto:royanggaran1807@gmail.com), [rizky.franchitika@gmail.com](mailto:rizky.franchitika@gmail.com)

#### Abstrak

Jalan adalah salah satu faktor yang mempengaruhi perkembangan pembangunan di Indonesia. Kualitas jalan sebanding dengan tingkat perkembangan pembangunan di Indonesia, salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas jalan raya adalah material yang digunakan dalam pembuatan jalan. Ada beberapa material yang dapat digunakan sebagai pencampur aspal yaitu salah satunya adalah *styrofoam*. *styrofoam* memiliki sifat material yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah. Hal ini membuat *styrofoam* memiliki potensi menjadi material pencampur yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari tetapi sedikit dimanfaatkan. Penggunaan aspal modifikasi menggunakan bahan campuran *styrofoam* masih harus melewati beberapa tahapan pengujian dan evaluasi. Hasil kadar aspal 4,5% dengan penambahan *styrofoam* 5% mampu menandingi spesifikasi kadar aspal optimum 5,55% HKA. Sampel yang gagal memenuhi spesifikasi minimum standar adalah kadar aspal 4,5% tanpa penambahan *styrofoam*. Sampel dengan kadar aspal 4,5% dengan penambahan *styrofoam* 3% belum cukup mencapai spesifikasi kadar aspal 5,55% HKA. Dari penelitian ini dapat bahwa penambahan limbah *styrofoam* pada campuran aspal ac-bc memiliki nilai yang baik dan mampu melampaui nilai optimum dari kadar aspal 5,55% yg digunakan HKA.

**Kata Kunci:** *Styrofoam, Marshall, Aspal.*

#### Abstract

Roads are one of the factors that influence the development of development in Indonesia. The quality of roads is proportional to the level of development in Indonesia. One of the factors that influences the quality of roads is the materials used in making roads. There are several materials that can be used as asphalt mixers, one of which is *styrofoam*. *Styrofoam* has material properties that are very light, stiff, translucent and cheap. This makes *styrofoam* have the potential to become a mixing material used in everyday life but is little utilized. The use of modified asphalt using a *Styrofoam* mixture still has to go through several stages of testing and evaluation. The results of an asphalt content of 4.5% with the addition of 5% *styrofoam* were able to match the optimum asphalt content specifications of 5.55% HKA. Samples that failed to meet the standard minimum specifications were 4.5% asphalt content without the addition of *styrofoam*. Samples with an asphalt content of 4.5% with The addition of 3% *styrofoam* is not enough to reach the asphalt content specification of 5.55% HKA. From this research, it was found that the addition of *Styrofoam* waste to the AC-BC asphalt mixture had good value and was able to exceed the optimum value of the 5.5% asphalt content used by HKA.

**Keywords:** *Styrofoam, Marshall, Asphalt.*

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan penduduk terbanyak ke-4 di dunia, karenanya Indonesia juga menghasilkan sampah terbanyak ke empat di dunia baik sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik biasanya diolah menjadi kompos dan sumber biogas, meskipun dalam skala nasional masih sedikit yang melakukan pengolahan sampah organik ini. Sampah anorganik terbagi menjadi beberapa bagian antara lain: sampah plastik, sampah *styrofoam*, sampah logam, dan lainnya. Sampah anorganik ada yang bisa didaur ulang ada juga yang hanya menjadi tumpukan sampah seperti misalnya sampah *styrofoam*. *Styrofoam* merupakan sampah yang dapat terurai dalam waktu 100 tahun karenanya *styrofoam* selalu

menjadi masalah disungai karena budaya masyarakat Indonesia yang selalu membuang sampah disungai. *Styrofoam* jika dibakar akan menghasilkan kepulan asap hitam yang menyebabkan polusi udara sehingga sangat jarang masyarakat membakar sampah dari *styrofoam* ini.

Keberadaan *styrofoam* tidak bisa lepas dari kehidupan manusia. Dan dampak sampah *styrofoam* pun sudah mulai dirasakan bersama. Di Indonesia, berdasarkan penelitian Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN), di 18 kota utama di Indonesia mereka menemukan 0,27 juta ton hingga 0,59 juta ton sampah masuk ke laut. Salah satu sampah yang banyak ditemukan yaitu sampah *styrofoam*.

Ada beberapa material yang dapat digunakan sebagai pencampur aspal yaitu salah satunya adalah *styrofoam*. *Styrofoam* memiliki sifat material yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah. Hal ini membuat *styrofoam* memiliki potensi menjadi material pencampur yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari tetapi sedikit dimanfaatkan. Penggunaan aspal modifikasi menggunakan bahan campuran *styrofoam* masih harus melewati beberapa tahapan pengujian dan evaluasi. Pengujian dan evaluasi bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari aspal modifikasi apabila diterapkan sebagai material pembuatan jalan raya.

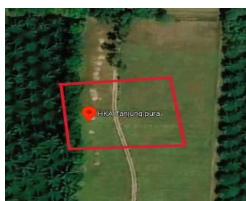
Maka dalam penelitian ini dilakukan modifikasi aspal menggunakan material yang digunakan sebagai pencampur aspal yaitu *styrofoam*. *Styrofoam* memiliki sifat material yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah. Hal ini membuat *styrofoam* memiliki potensi menjadi material pencampur yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari tetapi sedikit dimanfaatkan. Maka penelitian ini melakukan inovasi untuk mengurangi sampah *styrofoam* untuk digunakan sebagai bahan tambah aspal.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan uji tes Marshall pada aspal campuran *styrofoam* tersebut (Eksperimen).

### Lokasi Penelitian

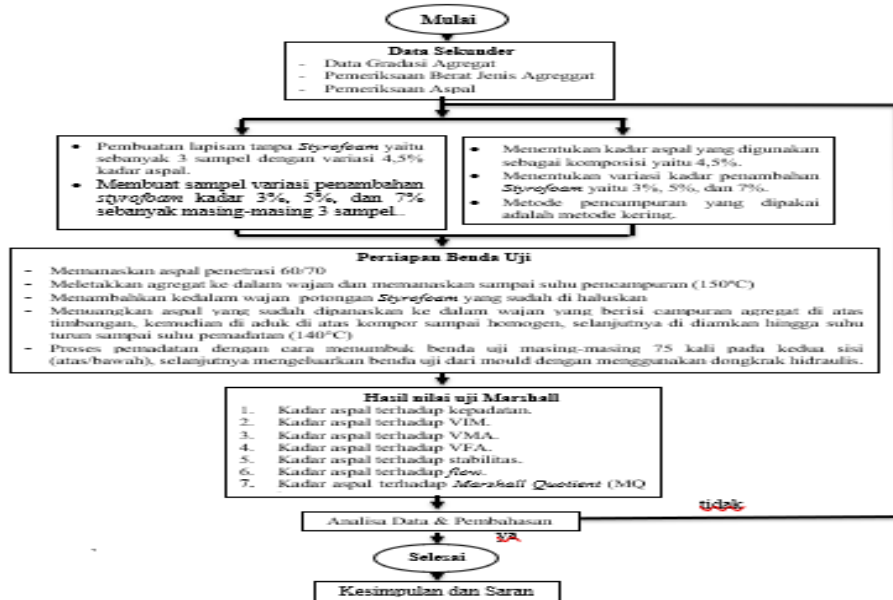
Lokasi yang dipilih sebagai tempat penelitian dilakukan di AMP Laboratorium PT. Hakaaston, Kwala Besilam, Kec. Tanjung pura, Kab. Langkat, Prov. Sumatera Utara, Indonesia.



Gambar 1. Lokasi Penelitian  
Sumber: Google Earth, 2024.

## Data Yang Diperlukan

Jenis data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Pada Penelitian ini data yang diperlukan adalah data permeabilitas dan Marshall test yang terdiri dari uji flow, stabilitas, marshall quotient (MQ), VIM, VFB, dan VMA.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik

Sebelum melakukan percobaan pembuatan sampel, terlebih dahulu dilakukan percobaan berat jenis agregat (*Specific Gravity*) serta distribusi ukuran butiran agregat atau analisa saringan, penyerapan, dan sampel *styrofoam*.

### Berat Jenis Agregat Halus

Agregat halus yang diuji umumnya lolos saringan no.200 mm. Secara umum pengujian agregat halus sama dengan agregat kasar, akan tetapi pada pengujian agregat halus diperbolehkan ketelitian yang tinggi karena gradasi yang halus lebih sulit daripada yang kasar. Pemeriksaan agregat halus dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Data pemeriksaan berat jenis agregat halus

NO	JENIS PEMERIKSAAN	HASIL SAMPEL
A	Berat piknometer	434 gr
B	Berat contoh kondisi SSD	500 gr
C	Berat piknometer + air + kondisi SSD	1241 gr
D	Berat piknometer + air	932 gr
E	Berat contoh kering	489 gr
Berat jenis kondisi kering ( <i>Bulk Specific Gravity</i> )		$\frac{E}{(E+D-C)}$ 2,72 gr

Berat jenis semu ( <i>Apparent Specific Gravity</i> )	$\frac{E}{(B+D+C)}$	2,54 gr
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	$\frac{B}{(B+D-C)}$	2,62 gr
Persentase penyerapan (Absorpsi Air)	$\frac{(B-E)}{E} \times 100\%$	2,25 gr

Sumber: Sumber: Data Penelitian, 2024

Data diatas merupakan hasil perhitungan berat jenis agregat halus untuk sampel yang akan digunakan sebagai sampel yang dapat disesuaikan dengan ketentuan SNI dalam tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 2 Hasil pengujian agregat halus

NO	Jenis Pengujian	Standar Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi Agregat
1	Penyerapan	SNI 03-1969-1990	2,25 gr	Maks 3
2	BJ Bulk	SNI 03-1969-1990	2,71 gr	Min 2,5
3	BJ semu	SNI 03-1969-1990	2,54 gr	Min 2,5
4	BJ SSD	SNI 03-1969-1990	2,62 gr	Min 2,5

Sumber: Departemen pekerjaan umum

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1998), persyaratan yang umum digunakan sebagai pedoman dan SNI 1970:2016 tentang metode uji berat jenis dan Penyerapan air agregat halus. Dapat dijelaskan bahwa agregat tersebut memenuhi persyaratan yang ditentukan dan layak digunakan sebagai bahan pencampuran perkerasan aspal, karena syarat berat jenis minimum 2,5gr/cm, serta penyerapan tidak lebih dari 3%. Berdasarkan tabel 2, keempat agregat tersebut telah memenuhi spesifikasi dan layak digunakan, serta dapat digunakan untuk perhitungan *Marshall*.

### Berat Jenis Agregat Kasar

Agregat kasar yang diuji umumnya tertahan pada saringan No.8 atau saringan 2,36 mm. Agregat kasar merupakan batu pecah mesin dengan ukuran maksimum tertahan pada saringan  $\frac{3}{4}$ . Berikut data pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar tabel 3.

Tabel 3 Data pemeriksaan berat jenis agregat kasar

NO	JENIS PEMERIKSAAN	HASIL SAMPEL
A	Berat contoh SSD	2000 gr
B	Berat contoh dalam air	1239 gr
C	Berat contoh kering	1950 gr
D	Berat keranjang dalam air	430 gr
	Berat jenis kondisi kering ( <i>Bulk Specific Gravity</i> )	$\frac{C}{(C-B)}$ 2,74 gr
	Berat jenis semu ( <i>Apparent Specific Gravity</i> )	$\frac{C}{(A-B)}$ 2,56 gr
	Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	$\frac{A}{(A-B)}$ 2,62 gr
	Persentase penyerapan (Absorpsi air)	$\frac{C}{(A-B)} \times 100\%$ 2,56 gr

Sumber: Data Penelitian, 2024

Data diatas merupakan hasil perhitungan berat jenis agregat kasar untuk sampel yang akan digunakan sebagai sampel yang dapat disesuaikan dengan ketentuan SNI dalam tabel .4 dibawah ini.

Tabel 4 Hasil pengujian agregat kasar

NO	Jenis Pengujian	Standar Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi Agregat
1	Penyerapan	SNI 03-1969-1990	2,56 gr	Maks 3
2	BJ Bulk	SNI 03-1969-1990	2,74 gr	Min 2,5
3	BJ semu	SNI 03-1969-1990	2,56 gr	Min 2,5
4	BJ SSD	SNI 03-1969-1990	2,62 gr	Min 2,5

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1998), persyaratan yang umum digunakan sebagai pedoman dan SNI 1970:2016 tentang metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Dapat dijelaskan bahwa agregat tersebut memenuhi persyaratan yang ditentukan dan layak digunakan sebagai bahan pencampuran perkerasan aspal, karena syarat berat jenis minimum 2,5gr/cm, serta penyerapan tidak lebih dari 3%. Berdasarkan tabel 2, keempat agregat tersebut telah memenuhi spesifikasi dan layak digunakan, serta dapat digunakan untuk perhitungan *Marshall*.

#### Analisa Saringan Agregat

Bahan agregat yang digunakan pada penelitian ini yang terdiri dari agregat kasar dan halus yang mempunyai beberapa jenis yang didefinisikan antara lain yaitu agregat kasar, agregat medium, dan agregat halusnya, serta bahan tambah *Styrofoam* sebagai bahan tambah aspal yang didapat dari limbah yang tidak terpakai dimasyarakat, dan agregat yang berasal dari laboratorium Hakaaston tanjung pura. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat sesuai dengan metode pengujian yang disyaratkan oleh Bina Marga. Komposisi agregat yang digunakan memiliki variasi persentase sesuai spesifikasinya. Terdapat 4 jenis variasi komposisi dalam perencanaan aspal yaitu: 4,5% aspal tanpa tambahan *styrofoam*, 4,5% aspal dengan 3% *styrofoam*, 4,5% dengan 5% *styrofoam*, 4,5% aspal dengan 7% *styrofoam*. Dan dalam setiap variasi penggunaannya memiliki hasil yang berbeda dengan pengolahan data yang di lakukan dengan cara yang sama, berikut penjelasannya.

#### Komposisi agregat dengan kandungan 4,5% aspal & 0% *Styrofoam*.

Dalam komposisi ini terdapat beberapa pengerjaan yang perlu dilakukan untuk mendapatkan atau merencanakan *job mix design* yang direncanakan dengan kandungan aspal 4,5% & *styrofoam* 0% seperti tabel-tabel berikut ini.

Tabel 5 Variasi komposisi material

Komposisi Agregat	Persentase Agregat(%)	Timbangan (gr)	Hasil (gr)
Pasir	13	1.146	149,0
Abu batu	27	1.146	309,4
MA ( <i>mediumaggregate</i> )	31	1.146	355,4
CA ¾"	14	1.146	160,4
CA 1"	12	1.146	137,5
<i>styrofoam</i>	3	1.146	34,38
Aspal	4,5	1.200	54,0

Sumber: Data Penelitian, 2024

Tabel 6. Data *Job Mix Design*

Gradasi	Aspal (%)	Styrofoam (%)	Timbang material	
			individu	kumulatif
3/4	4,5	0	0	0
1/2	4,5	0	86,5	86,5
3/8	4,5	0	54,8	141,3
No.4	4,5	0	254,7	396
No.8	4,5	0	233,8	629,8
No.16	4,5	0	153,8	783,6
No.30	4,5	0	116,9	900,5
No.50	4,5	0	75,7	976,2
No.100	4,5	0	66,0	1.042,3
No.200	4,5	0	36,0	1.079,1
Pan	4,5	0	66,9	1.146

Sumber: Data Penelitian, 2024

Data pada tabel diatas menjelaskan mengenai *Job mix design* pada pembuatan benda uji secara komposisi keseluruhan tiaptiap analisa saringan agregat dan memadukannya pada hasil kumulatif.

#### Komposisi agregat dengan kandungan 4,5% aspal & 3% Styrofoam.

Dalam komposisi ini terdapat beberapa pengerjaan yang perlu dilakukan untuk mendapatkan atau merencanakan *job mix disgn* yang direncanakan dengan kandungan 4,5% aspal & 3% *styrofoam* seperti tabel-tabel berikut ini.

Tabel 7. Variasi komposisi material

Gradasi	Aspal (%)	Styrofoam (%)	Timbang material	
			individu	kumulatif
3/4	4,5	3	83,4	83,4
1/2	4,5	3	138,4	221,8
3/8	4,5	3	77	298,8
No.4	4,5	3	217,6	516,4
No.8	4,5	3	191,1	707,5
No.16	4,5	3	102,3	809,8
No.30	4,5	3	117,8	927,5
No.50	4,5	3	64,5	992,0
No.100	4,5	3	57,3	1.049,3
No.200	4,5	3	28,3	1.077,6
Pan	4,5	3	34	1.111,6

Sumber: Data Penelitian, 2024

Tabel 8. Data *Job Mix Design*

Komposisi Agregat	Persentase Agregat (%)	Timbangan (gr)	Hasil (gr)
Pasir	13	1.146	148,98
Abu batu	38	1.146	435,5
MA ( <i>medium aggregate</i> )	34	1.146	389,6
CA ( <i>coarse aggregate</i> )	13	1.146	148,92
Filler	2	1.146	22,92
Aspal	4,5	1.200	54

Sumber: Data Penelitian, 2024

Data pada tabel diatas menjelaskan mengenai Job mix design pada pembuatan benda uji secara komposisi keseluruhan tiaptiap analisa saringan agregat dan memadukannya pada hasil kumulatif

#### **Komposisi agregat dengan kandungan 4,5% aspal & 5% styrofoam.**

Dalam komposisi ini terdapat beberapa pengerjaan yang perlu dilakukan untuk mendapatkan atau merencanakan job mix disgn yang direncanakan dengan kandungan 4,5% aspal & 5% *styrofoam* seperti tabel-tabel berikut ini.

Tabel 9.Variasi komposisi material

Komposisi Agregat	Persentase Agregat (%)	Timbangan (gr)	Hasil (gr)
Pasir	13	1.146	149,0
Abu batu	23	1.146	263,6
MA ( <i>medium aggregate</i> )	31	1.146	355,3
CA ¾"	14	1.146	160,4
CA 1"	12	1.146	137,5
Styrofoam	7	1.146	80,22
Aspal	4,5	1.200	54,0
Komposisi Agregat	Persentase Agregat (%)	Timbangan (gr)	Hasil (gr)
Pasir	13	1.146	149,0
Abu batu	25	1.146	286,5
MA ( <i>medium aggregate</i> )	31	1.146	355,3

CA ¾"	14	1.146	160,4
CA 1"	12	1.146	137,5
styrofoam	5	1.146	57,3
Aspal	4,5	1.200	54,0

Sumber: Data Penelitian, 2024

Tabel 10. Data Job Mix Design

Gradasi	Aspal (%)	Styrofoam (%)	Timbang material	
			individu	kumulatif
¾	4,5	5	83,4	83,4
½	4,5	5	138,4	221,8
⅜	4,5	5	77	298,8
No.4	4,5	5	216,9	515,8
No.8	4,5	5	184,4	700,2
No.16	4,5	5	96,2	796,4
No.30	4,5	5	115,2	911,5
No.50	4,5	5	62,7	974,2
No.100	4,5	5	55,6	1.029,9
No.200	4,5	5	26,9	1.056,7
Pan	4,5	5	32	1.088,7

Sumber: Data Penelitian, 2024

Data diatas adalah komposisi *Job mix design* yang didapat untuk digunakan sebagai komposisi sampel yang akan dilakukan pada penelitian ini.

### Komposisi agregat dengan kandungan 4,5% aspal & 7% Styrofoam.

Dalam komposisi ini terdapat beberapa pengerjaan yang perlu dilakukan untuk mendapatkan atau merencanakan job mix disgn yang direncanakan dengan kandungan 4,5% aspal & 7% *styrofoam* seperti tabel-tabel berikut ini.

Tabel 11. Variasi komposisi material

Sumber: Data Penelitian, 2024

Komposisi yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai sampel.

Tabel 12. Data Job Mix Design

Gradasi	Aspal (%)	Styrofoam (%)	Timbang material	
			individu	kumulatif
¾	4,5	7	83,4	83,4
½	4,5	7	138,4	221,8



Gradasi	Aspal (%)	Styrofoam (%)	Timbang material	
			individu	kumulatif
3/8	4,5	7	77	298,8
No.4	4,5	7	216,9	515,8
No.8	4,5	7	177,8	692,9
No.16	4,5	7	90,0	782,9
No.30	4,5	7	112,6	895,5
No.50	4,5	7	60,9	956,4
No.100	4,5	7	54,0	1.010,4
No.200	4,5	7	25,5	1.035,9
Pan	4,5	7	29,9	1.065,8

Sumber: Data Penelitian, 2024

Data diatas adalah komposisi Job mix design yang didapat untuk digunakan sebagai komposisi sampel yang akan dilakukan pada penelitian ini.

### Pengolahan

Hasil pengolahan akan diuraikan dalam tabel kadar aspal dan parameter *Marshall* test, dapat dilihat pada Tabel-tabel berikut ini:

Tabel 13. Hasil perhitungan *Marshall Test* (kadar aspal 4,5%)

No.	Kadar Aspal	VMA	VIM	VFA	Stability	Flow	Marshall Quotient
	(%)	(%)	(%)	(%)	Kg	mm	Kg/mm
1	4,5	12,91	2,36	81,73	350	2,89	4,1
2	4,5	14,95	4,65	68,92	355	2,9	122,4
3	4,5	12,49	1,89	84,86	358	2,8	127,9

Sumber: Data Penelitian, 2024

Data diatas adalah tabel hasil perhitungam *Marshall test*, dapat terlihat pada tabel diatas tersebut ada tiga hasil variasi sampel dengan kadar aspal 4,5% yang dilakukan.

Tabel 14. Hasil perhitungan *Marshall Test* (kadar aspal 4,5%, Styrofoam 3%)

No.	Kadar Aspal	VMA	VIM	VFA	Stability	Flow	Marshall Quotient
	(%)	(%)	(%)	(%)	Kg	mm	Kg/mm
1	4,5	14	4,67	65,73	750	3,18	236
2	4,5	14	4,95	64,34	745	3,25	229
3	4,5	13	4,37	67,32	748	3,16	237

Sumber: Data Penelitian, 2024

Data diatas adalah tabel hasil perhitungam *Marshall test*, dapat terlihat pada tabel diatas tersebut ada tiga hasil variasi sampel dengan kadar aspal 4,5% dengan penambahan styrofoam 3% yang dilakukan.

Tabel 15 Hasil perhitungam *Marshall Test* (kadar aspal 4,5%, styrofoam 5%)

No.	Kadar Aspal	VMA	VIM	VFA	Stability	Flow	Marshall Quotient
	( % )	( % )	( % )	( % )	Kg	mm	Kg/mm
1	4,5	15,18	4,41	70,96	948	3,6	263
2	4,5	15,34	4,58	70,12	951	3,5	272
3	4,5	15,68	4,97	68,33	950	3,1	306

Sumber: Data Penelitian, 2024.

Data diatas adalah tabel hasil perhitungam *Marshall test*, dapat terlihat pada tabel diatas tersebut ada tiga hasil variasi sampel dengan kadar aspal 4,5% dengan penambahan styrofoam 5% yang dilakukan.

Tabel 16 Hasil perhitungam *Marshall Test* (kadar aspal 4,5%, styrofoam 7%)

No.	Kadar Aspal	VMA	VIM	VFA	Stability	Flow	Marshall Quotient
	( % )	( % )	( % )	( % )	Kg	mm	Kg/mm
1	4,5	15,77	3,03	80,79	1020	3,8	268
2	4,5	15,89	3,16	80,09	1021	3,75	272
3	94,5	15,77	3,02	80,82	1020	3,85	265

Sumber: Data Penelitian, 2024

Data diatas adalah tabel hasil perhitungam *Marshall test*, dapat terlihat pada tabel diatas tersebut ada tiga hasil variasi sampel dengan kadar aspal 4,5% dengan penambahan styrofoam 7% yang dilakukan.

Tabel 17 Pembeding pada hasil penelitian (kadar aspal 5,55% HKA)

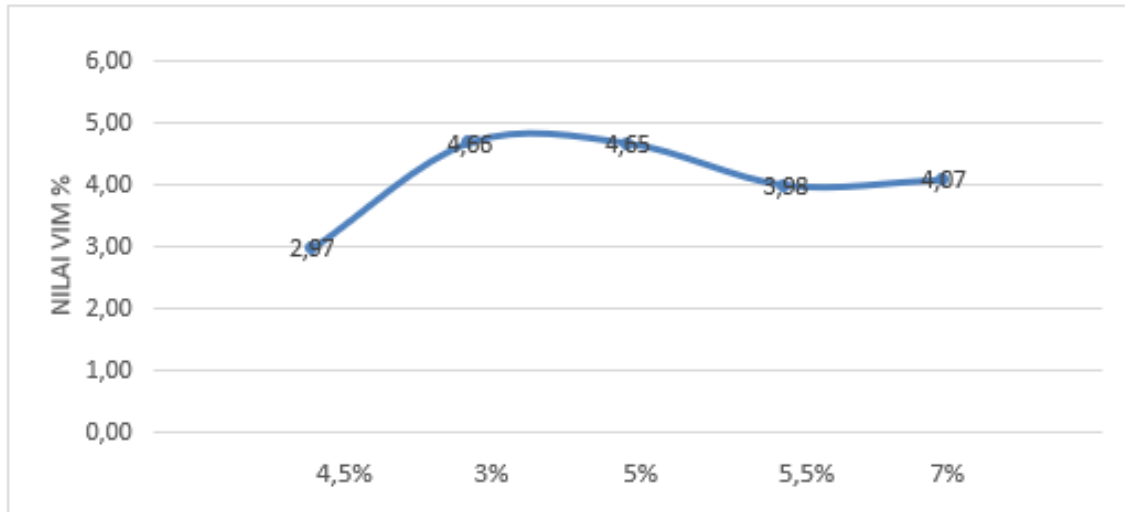
No.	Kadar Aspal	VMA	VIM	VFA	Stability	Flow	Marshall Quotient
	( % )	( % )	( % )	( % )	kg	mm	Kg/mm
1	5,55	14,30	3,98	64,00	1267	3,60	352

Sumber: Data Penelitian, 2024

Data diatas adalah tabel hasil perhitungam *Marshall test*, dapat terlihat pada tabel diatas tersebut hasil variasi sampel dengan kadar aspal 5,55% HKA yang akan digunakan sebagai perbandingan dari variasi sampel kadar aspal 4,5%, kadar aspal styrofoam 3%, kadar aspal styrofoam 5%, kadar aspal styrofoam 7%.

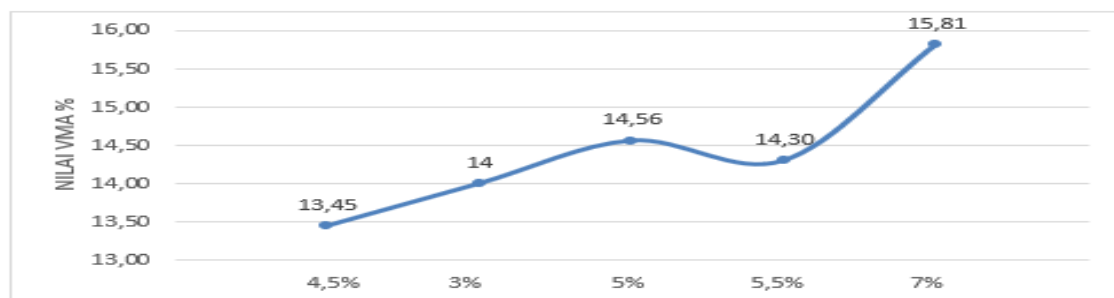
Data hasil diatas adalah nilai *Marshall test* yang didapat pada saat melakukan percobaan *Marshall test* di lokasi penelitian dan data tersebut didapat dengan cara menghitung kecepatan putaran dari diagram *Marshall*, dan didapat nilai-nilai tersebut dimana setiap sampel diambil nilai rata-ratanya yang akan diperbandingkan dengan nilai Kadar aspal 5,55% HKA sebesar 3,62kg/mm.

Hasil perhitungan dari analisis kadar aspal 4,5%, 3% *styrofoam*, 5% *styrofoam* dan 7% *styrofoam* diatas, maka akan di bandingkan dengan spesifikasi nilai kadar aspal 5,55% HKA. Untuk hasil perbandingan dengan menggunakan standar 5,55% HKA dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



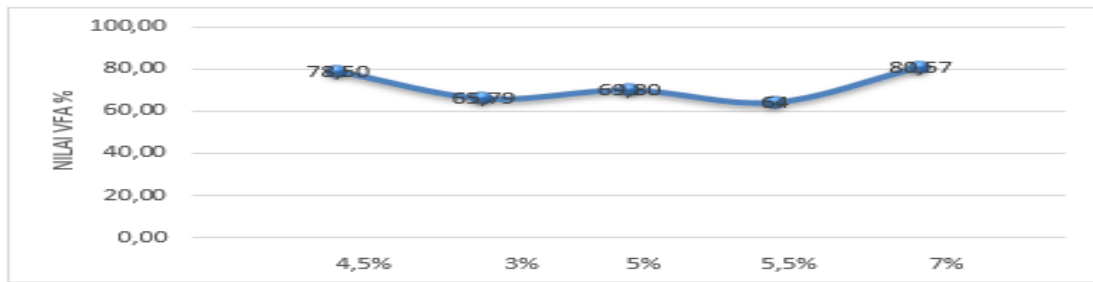
Gambar 1 Grafik Perbandingan nilai VIM (*Void In The Mix*)  
Sumber: Hasil Analisis

Gambar grafik diatas menjelaskan tentang nilai VIM yang didapat pada percobaan ini dengan variasi campuran 4,5% kadar aspal 0% *Styrofoam*, 4,5% kadar aspal 3% *Styrofoam*, 4,5% kadar aspal 5% *Styrofoam*, 5,55% kadar aspal 0% *Styrofoam*, 4,5% kadar aspal 7% *Styrofoam*, dilihat dari gambar tersebut penambahan *styrofoam* diangka 3%, 5%, 7% memiliki nilai yang lebih tinggi dari kadar aspal terhadap VIM dengan nilai 5,55%.



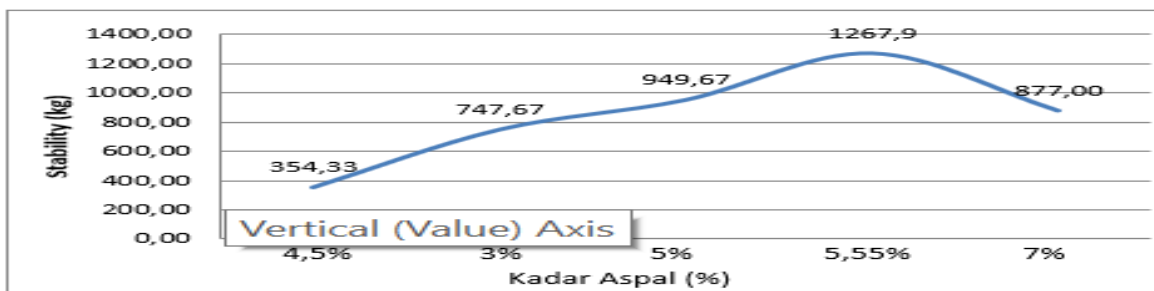
Gambar 2 Grafik Perbandingan nilai VMA (*Void In The Mineral Aggregate*)  
Sumber: Hasil Analisis

Gambar grafik diatas menjelaskan tentang nilai VMA yang didapat pada percobaan ini dengan variasi campuran 4,5% kadar aspal 0% *styrofoam*, 4,5% kadar aspal 3% *styrofoam*, 4,5% kadar aspal 5% *styrofoam*, 5,55% kadar aspal 0% *styrofoam*, 4,5% kadar aspal 7% *styrofoam*, hasil dari grafik diatas menunjukkan kadar penambahan *styrofoam* yang melampaui nilai 5,55% adalah di angka 5% dan 7% penambahan *styrofoam*.



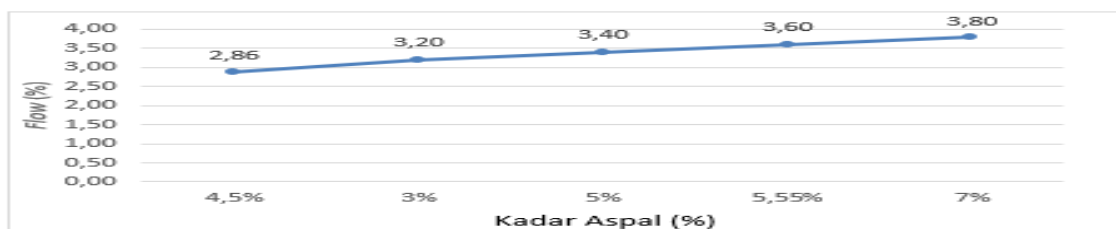
Gambar 3 Grafik Perbandingan nilai VFA (Void Filled With Asphalt)  
 Sumber: Sumber: Hasil Analisis

Gambar grafik diatas menjelaskan tentang nilai VFA yang didapat pada percobaan ini dengan variasi campuran 4,5% kadar aspal 0% styrofoam, 4,5% kadar aspal 3% styrofoam, 4,5% kadar aspal 5% Styrofoam, 5,55% kadar aspal 0% styrofoam, 4,5% kadar aspal 7% Styrofoam, dapat dilihat dari grafik diatas kadar yang mengimbangi angka 5,55% adalah penambahan styrofoam diangka 7%.



Gambar 4 Grafik Perbandingan nilai stability  
 Sumber: Sumber: Hasil Analisis

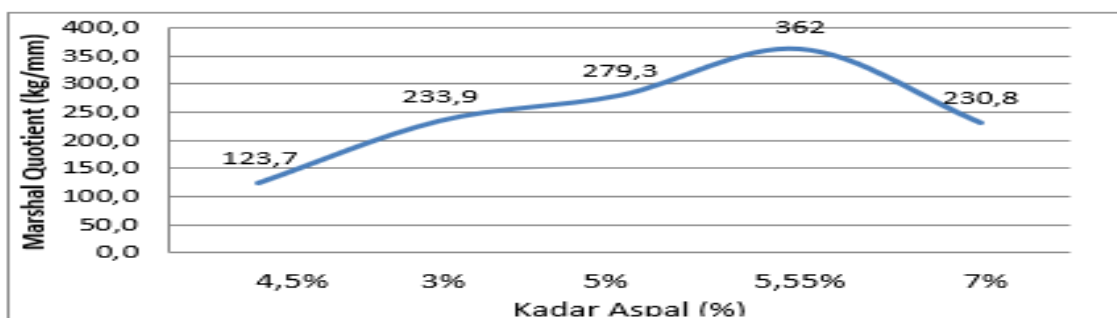
Gambar grafik diatas menjelaskan tentang nilai stability yang didapat pada percobaan ini dengan variasi campuran 4,5% kadar aspal 0% Styrofoam, 4,5% kadar aspal 3% Styrofoam, 4,5% kadar aspal 5% Styrofoam, 5,55% kadar aspal 0% Styrofoam, 4,5% kadar aspal 7% Styrofoam, dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai yang mengimbangi kadar 5,55% adalah nilai dengan penambahan styrofoam 7%.



Gambar 5 Grafik Perbandingan nilai flow  
 Sumber: Sumber: Hasil Analisis

Gambar grafik diatas menjelaskan tentang nilai flow yang didapat pada percobaan ini dengan variasi campuran 4,5% kadar aspal 0% styrofoam, 4,5% kadar aspal 3% Styrofoam, 4,5% kadar aspal 5% Styrofoam, 5,55% kadar aspal 0% styrofoam, 4,5% kadar aspal 7%

*styrofoam*, dilihat dari grafik diatas bahwa nilai *flow* yang paling baik adalah di angka 7% penambahan *styrofoam* dan nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan kadar 5,55%.



Gambar 6 Grafik Perbandingan nilai *Marshal Quotient*

Sumber: Hasil Analisis

Gambar grafik diatas menjelaskan tentang nilai *marshal quotient* yang didapat pada percobaan ini dengan variasi campuran 4,5% kadar aspal 0% *styrofoam*, 4,5% kadar aspal 3% *styrofoam*, 4,5% kadar aspal 5% *styrofoam*, 5,55% kadar aspal 0% *styrofoam*, 4,5% kadar aspal 7% *styrofoam*, dari grafik diatas terlihat bahwa angka yang mendekati nilai kadar 5,55% adalah penambahan *styrofoam* 5% dan 7%.

## PEMBAHASAN

Hasil pengujian yang dilakukan yaitu: Hasil Perhitungan kadar aspal 4,5% dengan penambahan *styrofoam* 5% mampu menandingi spesifikasi kadar aspal optimum 5,55% HKA. Sampel yang gagal memenuhi spesifikasi minimum standar adalah kadar aspal 4,5% tanpa penambahan *styrofoam*. Sampel dengan kadar aspal 4,5% dengan penambahan *styrofoam* 3% belum cukup mencapai spesifikasi kadar aspal 5,55% HKA, Sampel dengan kadar aspal 4,5% dengan penambahan *styrofoam* 7% memiliki nilai spesifikasi diatas nilai 5,55% HKA. Dari penelitian ini didapat bahwa penambahan limbah *styrofoam* pada campuran aspal AC-BC memiliki nilai yang baik dan mampu melampaui nilai optimum dari kadar aspal 5,55% yang digunakan HKA. Berikut adalah data perbandingan hasil analisa penelitian yang dilakukan tabel 18.

Tabel 18 Perbandingan hasil analisa penelitian

No.	Kadar Aspal (%)	<i>Styrofoam</i> (%)	VMA		VIM		VFA	
			VMA (%)		VIM (%)		VFA (%)	
			Nilai yang didapat	Nilai standart minimum	Nilai yang didapat	Nilai standart	Nilai yang didapat	Nilai standart minimum
1	4,5	0	13,45	13	2,97	3-5	78,50	65
2	4,5	3	14,00	13	4,66	3-5	65,79	65
3	4,5	5	14,56	13	4,65	3-5	69,80	65
4	4,5	7	15,81	13	4,07	3-5	80,57	65
5	5,55	0	14,30	13	3,98	3-5	64,00	65

Sumber: Data penelitian, 2024

Tabel diatas menunjukkan perbandingan hasil analisa spesifikasi yang didapat pada penelitian yang dilakukan dan hasil dari data 5,55 HKA sebagai perbandingan.

## SIMPULAN

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada *asphalt concrete – Binder Course (AC-BC)* dengan menggunakan *styrofoam*, maka kesimpulan yang didapat dari penelitian ini:

1. Kadar optimum penambahan limbah *styrofoam* pada AC-BC didapat pada penelitian ini adalah diangka 4,5% kadar aspal dengan penambahan 5% *Styrofoam*, dimana normalnya campuran standar kadar aspal yaitu di angka 5,55%.
2. Kadar aspal 4,5% dengan penambahan *styrofoam* di angka 5% dan 7% dapat mengimbangi bahkan melampaui spesifikasi kadar aspal optimum HKA dengan kadar aspal 5,55%.

## Saran

Berdasarkan hasil analisa data dalam penelitian dapat diambil beberapa saran sebagai berikut:

1. Penambahan limbah *styrofoam* pada campuran aspal sangat layak digunakan dan memenuhi standar spesifikasi kadar aspal.
2. Limah *styrofoam* ini juga mudah didapat dan juga dapat mengurangi limbah *styrofoam* pada lingkungan masyarakat.
3. Semoga penelitian penambahan limbah *styrofoam* pada aspal ini dapat di kembangkan oleh peneliti selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 2017. *Manual desain perkerasan jalan nomor 02/M/BM/2017*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Departemen PU, 2002.: *Petunjuk Umum. Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018, *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2)*. Jakarta Selatan: Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga.
- F.L. Roberts. 1991. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design And Construction, Napa Education Foundation, Lanham, Maryland*.
- Lucia, G. J. Lalamentik., Theo, K. Sendow., Winardi, M. F. Sumardi. 2022. “*Pemanfaatan Abu Serbuk Serabut Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Campran Aspal Beton (Ac-Bc) Terhadap Nilai Pengujian Marshall*”.
- Mudianto, 2004. *Stabilitas campuran aspal*. Asphalt Institute.
- Padmi, & Damanhuri, 2010. *Pengolahan Sampah*, ITB: Bandung.
- Pratita, Adella Sari. 2017. *Pengaruh Penggunaan Styrofoam Sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Kadar 0%; 6,5%; 7,5%; 8,5% Dan 9,5% Pada Campuran HRS-WC*.
- RSNI s-01-2003, *Spesifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi Departemen PU*.
- Sukirman, Silvia. 2003. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova.