

## **ANALISA KELAYAKAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS UNTUK CAMPURAN ASPAL BETON DITINJAU DARI NILAI STABILITAS MARSHALL**

oleh :

**Swasti Arliningtyas**

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

Email : tyas.arliningtyas@gmail.com

**N a d i a**

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

Email : nd7988@yahoo.co.id

**ABSTRAK :** Aspal beton merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal sehingga diperoleh kemudahan untuk mencampurnya, maka kedua material harus dipanaskan dulu sebelum dicampur. Limbah keramik dapat dipertimbangkan sebagai agregat alternatif dalam campuran aspal beton. Limbah keramik akan dihaluskan hingga memenuhi standar diameter butir agregat halus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kelayakan limbah keramik sebagai pengganti agregat halus ditinjau dari nilai stabilitas Marshall pada campuran aspal beton. Penelitian menggunakan metode pengujian Marshall. Pengujian Marshall dimaksudkan untuk menentukan ketahan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (flow) dari campuran aspal dan agregat. Campuran aspal beton menggunakan variasi agregat halus pasir (100%), agregat halus limbah pecahan keramik (100%) dan agregat halus pasir (50%) dicampur dengan limbah pecahan keramik (50%). Campuran aspal beton yang menghasilkan nilai stabilitas Marshall terbaik adalah campuran dengan variasi agregat halus pasir (50%) dicampur dengan limbah pecahan keramik (50%), yaitu dengan rata-rata 824.63 kg. Sedangkan campuran aspal beton yang menghasilkan nilai stabilitas Marshall paling rendah adalah campuran dengan variasi agregat halus limbah pecahan keramik (100%), yaitu dengan rata-rata 792.38 kg. Campuran aspal beton dengan variasi agregat halus pasir (100%) menghasilkan nilai rata-rata stabilitas Marshall 805.97 kg.

**Kata kunci :** limbah pecahan keramik, aspal beton, stabilitas Marshall.

**ABSTRACT :** Asphalt concrete is a mixture evenly distributed between aggregate and asphalt as a binder. To dry the aggregate and obtain sufficient liquidity level of asphalt in order to obtain the ease of mixing, the both materials must be preheated before being mixed. Ceramic waste can be considered as an alternative aggregate in asphalt concrete. Ceramic waste will be crushed to meet the standards of fine aggregate grain diameter. This research aims to analyze the feasibility of ceramic waste as a substitute for fine aggregate in terms of value on the Marshall stability of asphalt concrete. Research testing using Marshall. Marshall test is intended to determine the resilience (stability) of the melting plastic (flow) from a mixture of asphalt and aggregate. Asphalt concrete using a variety of fine sand aggregate (100%), fine aggregate waste ceramic fragments (100%) and fine aggregate sand (50%) mixed with ceramic shards waste (50%). Asphalt concrete that produce value to Marshall stability is best to mix with a variety of fine aggregate sand (50%) mixed with ceramic shards waste (50%), with an average of 824.63 kg. While asphalt concrete mix that produces the lowest grades Marshall stability is a mixture with a variety of fine aggregate waste ceramic fragments (100%), with an average of 792.38 kg. Mix asphalt concrete with fine aggregate variation of sand (100%) resulted in the average value of 805.97 kg Marshall stability.

**Keywords:** waste ceramic fragments, asphalt concrete, Marshall stability.

## Latar Belakang

Aspal beton merupakan salah satu jenis lapis perkerasan dari konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal sehingga diperoleh kemudahan untuk mencampurnya, maka kedua material harus dipanaskan dulu sebelum dicampur. Karena dicampur dalam keadaan panas maka seringkali disebut sebagai "hotmix". Agregat bekas merupakan limbah padat yang jika dibuang memerlukan biaya dan membutuhkan tempat pembuangan. Agregat bekas yang dihasilkan dari suatu aktivitas pembongkaran, pengadaan konstruksi, ataupun dari reruntuhan bangunan dapat dimanfaatkan sebagai agregat alternatif, salah satunya adalah limbah potongan keramik. Pada penelitian ini potongan keramik akan dihaluskan hingga memenuhi standar diameter butir agregat halus.

## Identifikasi Masalah

- a. Apakah limbah potongan keramik layak digunakan sebagai agregat halus pembuatan aspal beton?
- b. Apakah campuran aspal beton dengan menggunakan agregat halus limbah potongan keramik menghasilkan nilai stabilitas Marshall yang memenuhi syarat minimal Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3?
- c. Apakah campuran aspal beton dengan menggunakan agregat halus pasir (50%) yang dicampur dengan keramik (50%) menghasilkan nilai stabilitas Marshall yang memenuhi syarat minimal Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3?

## Rumusan Masalah

- a. Berapa nilai dari stabilitas Marshall pada campuran aspal beton dengan menggunakan agregat halus pasir (100%) dan limbah potongan keramik (100%)?
- b. Berapa nilai stabilitas Marshall pada campuran aspal beton dengan menggunakan agregat halus campuran pasir (50%) dan keramik (50%)?
- c. Bagaimana perbandingan nilai stabilitas Marshall pada campuran aspal beton dari varian agregat halus pasir (100%), keramik (100%), dan pasir (50%) dicampur dengan keramik (50%)?

## Batasan Masalah

- a. Analisa aspal beton lapis permukaan atau *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC).
- b. Analisa aspal beton dengan mensubstitusi agregat halus menggunakan limbah keramik yang dihaluskan.
- c. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang berasal dari Kuningan.
- d. Agregat halus yang digunakan terdapat 3 jenis, yaitu pasir yang berasal dari Bangka Belitung, limbah potongan keramik yang berasal dari renovasi rumah tinggal di Perumnas III, Bekasi Timur, dan campuran dari pasir (50%) dan limbah potongan keramik (50%).
- e. Limbah keramik yang digunakan adalah sisa potongan keramik lantai dan dinding yang sudah dibersihkan dari sisa unsur lainnya.
- f. Filler yang digunakan adalah semen portland Tiga Roda Tipe I.
- g. Aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70.
- h. Ukuran butir agregat kasar adalah 4,75 mm – 19 mm.

- i. Ukuran butir agregat halus adalah 0,075 mm – 4,75 mm.
- j. Limbah keramik dihaluskan hingga lolos ayakan No.4 (4,75 mm).
- k. Perubahan kimiawi yang terjadi tidak ditinjau.
- l. Tinjauan terhadap karakteristik campuran terbatas pada perbandingan nilai stabilitas Marshall.
- m. Nilai minimum stabilitas Marshall berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga seksi 6.3 tentang Campuran Beraspal Panas, Tahun 2010 Revisi 3, yaitu 800 kg.
- n. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi  $\pm 2,5$  inchi (6,35 cm).
- o. Jumlah benda uji adalah 5 buah untuk benda uji yang menggunakan agregat halus pasir, 5 buah untuk benda uji yang menggunakan agregat halus limbah keramik, dan 5 buah untuk benda uji yang menggunakan agregat halus pasir (50%) dicampur dengan limbah keramik (50%).
- p. Pengujian hipotesis untuk perbandingan data menggunakan metode uji t.
- q. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum (PU) & Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air Balai Irigasi yang beralamat di Jln. Cut Meutia, Margahayu, Bekasi Timur, Kota Bekasi 17113.

### Tujuan

1. Untuk mengetahui kelayakan kualitas aspal beton menggunakan agregat halus limbah keramik yang diamati dari nilai stabilitas Marshall.
2. Untuk mengetahui perbandingan nilai stabilitas Marshall aspal beton yang menggunakan agregat halus pasir, aspal beton yang menggunakan agregat halus limbah keramik, dan aspal beton yang

menggunakan agregat halus campuran pasir (50%) dan limbah keramik (50%).

3. Untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh pemanfaatan limbah keramik terhadap nilai stabilitas Marshall campuran aspal beton.

### Hipotesis

- a. Nilai stabilitas Marshall aspal beton yang menggunakan agregat halus limbah potongan keramik (100%) lebih besar dari nilai stabilitas Marshall aspal beton yang menggunakan agregat halus campuran pasir (50%) dan limbah potongan keramik (50%).
- b. Nilai stabilitas Marshall aspal beton yang menggunakan agregat halus campuran pasir (50%) dan limbah potongan keramik (50%) lebih besar dari nilai stabilitas Marshall aspal beton yang menggunakan agregat halus pasir (100%).
- c. Limbah potongan keramik layak digunakan sebagai agregat halus pada campuran aspal beton.

### Aspal Beton

Aspal beton merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal sehingga diperoleh kemudahan untuk mencampurnya, maka kedua material harus dipanaskan dulu sebelum dicampur. Karena dicampur dalam

keadaan panas maka seringkali disebut sebagai "*hotmix*". Lapis aspal beton (laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis lapisan, yaitu lapis permukaan (AC-WC), lapis pondasi atas (AC-BC) dan lapis pondasi bawah (AC-Base).

### Karakteristik Aspal Beton

Suatu lapisan perkerasan yang baik harus memenuhi karakteristik tertentu sehingga kuat menahan beban serta aman dan nyaman ketika dilalui kendaraan. Karakteristik yang dimiliki aspal beton adalah :

1. Stabilitas
2. Kelelahan atau *flow*
3. *Marshall Quotient*
4. Void Filled Bitumen (VFB)
5. Void In Mix (VIM)
6. Void In Mineral Agregat (VMA)

### Agregat

Agregat/batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan penyal (*solid*). ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat/batuan merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Berdasarkan besar partikel-partikel agregat dapat dibedakan atas :

#### 1. Agregat kasar

Agregat yang ukurannya  $> 4.75$  mm menurut ASTM atau  $> 2$  mm menurut AASHTO.

Agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No. 4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan

bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

#### 2. Agregat halus

Agregat yang ukurannya  $< 4.75$  mm menurut ASTM atau  $< 2$  mm dan  $> 0.075$  mm menurut AASHTO.

Agregat halus dari sumber manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm). Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

#### 3. Abu batu / mineral *filler* / bahan pengisi

Agregat yang umumnya lolos saringan No. 200.

Bahan pengisi dapat terdiri atas debu batu kapur, debu kapur padam sesuai dengan AASHTO M303-89 (2006), semen atau mineral yang berasal dari asbuton. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (0.075 mm) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.

#### 4. Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas. Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel berikut.

Tabel 1. Gradasi agregat gabungan

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran AC-WC
37,5	-
25	-
19	100
12,5	90-100
9,5	77-90
4,75	53-69
2,36	33-53
1,18	21-40
0,600	14-30
0,300	9-22
0,150	6-15
0,075	4-9

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3

### Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan / penyiraman pada perkerasan makadam ataupun pelaburan. Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume.

Aspal minyak yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan merupakan proses hasil residu dari destilasi minyak bumi, sering disebut sebagai aspal semen. Aspal semen bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air, serta tahan terhadap pengaruh asam, basa, dan garam. Ini berarti jika dibuatkan lapisan dengan mempergunakan aspal sebagai pengikat

dengan mutu yang baik dapat memberikan lapisan kedap air dan tahan terhadap pengaruh cuaca dan reaksi kimia yang lain.

### Keramik

Keramik pelapis dinding terbuat dari tanah pekat putih yang halus sekali dan mengandung kaolin, feldspar dan kuarsa. Setelah dicetak atau dibentuk keramik dikeringkan dan dilapisi glasir yang mengandung banyak timah-oksida dan selama glasir masih basah dilakukan proses pewarnaan, kemudian dibakar pada suhu 1100°C.

Kaolin merupakan suatu masa batuan yang kemudian tersusun dari material lempung yang mempunyai kandungan besi yang rendah, dan umumnya berwarna putih atau agak keputihan. Feldspar adalah batuan yang mengandung sodium, potasium, alumina dan silica. Sifatnya untuk melelehkan, menurunkan titik bakar, atau dengan kata lain membuat bahan keramik lebih matang. Skala kekerasan feldspar adalah Mohs 6 (Kekerasan Absolut 72). Kuarsa adalah salah satu mineral yang umum ditemukan di kerak kontinen bumi. Skala kekerasan kuarsa adalah Mohs 7 (kekerasan absolut 100).

### Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran aspal beton terdiri dari :

- a. Perhitungan komposisi agregat
  - Perhitungan komposisi agregat pada campuran aspal beton tergantung pada hasil analisa saringan dan kombinasi gradasi agregat gabungan. Kombinasi gradasi agregat untuk perencanaan campuran dinyatakan dalam persen berat agregat dan harus memenuhi batas-batas gradasi agregat gabungan seperti tercantum pada tabel gradasi agregat

gabungan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3. Hubungan antara persen lolos saringan dan ukuran saringan disajikan dalam grafik dengan skala logaritmik.

b. Perhitungan aspal optimum

Untuk menentukan kadar aspal optimum terdapat beberapa formula pendekatan, salah satunya adalah formula dari *Asphalt Institute*, MS-02 1995, sebagai berikut:

$$pKAO = 0.035 (\%CA) + 0.45 (\%FA) + 0.18 (\%FF) + K$$

Dimana:

pKAO = Persentase kadar aspal optimum terhadap campuran

CA = Persentase agregat tertahan saringan No. 8

FA = Persentase agregat lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200

FF = Persentase agregat lolos saringan No. 200 minimal 75%

K = Konstanta (0.5 - 1.0 untuk aspal beton)

c. Perhitungan kebutuhan agregat dan aspal

Dari hasil perhitungan komposisi agregat dan perhitungan aspal optimum, maka jumlah kebutuhan agregat dan aspal dapat dihitung sesuai dengan kebutuhan benda uji yang direncanakan.

### Pengujian Marshall

Kinerja campuran aspal beton dapat diuji dengan menggunakan alat pengujian Marshall. Pemeriksaan ini pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall, selanjutnya dikembangkan oleh U.S. Corps of Engineer. Saat ini pengujian Marshall mengikuti prosedur PC-0201-76 atau AASHTO T 245-74, atau ASTM D 1559-62T. Pengujian dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan

plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Kelelahan plastis adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0.01". Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991.

### Uji T atau Student T Test

Istilah hipotesis berasal dari bahasa Yunani, yaitu dari kata *hupo* dan *thesis*. *Hupo* artinya sementara atau kurang kebenarannya atau masih lemah kebenarannya. Sedangkan *thesis* artinya pernyataan atau teori, sehingga istilah hipotesis memiliki pengertian pernyataan sementara yang perlu diuji kebenarannya.<sup>[5]</sup>

Dalam penelitian ini digunakan *student t-test* yaitu uji komparatif untuk menilai perbedaan antara nilai tertentu dengan rata-rata kelompok populasi. *Student t-test* disebut juga dengan istilah *one sample t test* atau uji *t* satu sampel karena uji *t* di sini menggunakan satu sampel.

Rumus *one sample t test* adalah:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$$

Dimana:

T = *t* hitung

X = nilai sampel

$\mu_0$  = nilai sampel yang menjadi perbandingan (nilai minimum stabilitas)

s = standar deviasi sampel

n = jumlah sampel

Nilai *t* hitung dari masing-masing sampel dibandingkan dengan nilai *t* tabel. Jika nilai *t* hitung < dari nilai *t* tabel maka data diterima sedangkan jika nilai *t* hitung > dari nilai *t* tabel maka data ditolak.

### Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat

Tabel 2. Hasil pengujian sifat fisik agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil
1	Berat Jenis (Bulk)	-	$\geq 2,5$	2,57
2	Berat Jenis SSD	-	$\geq 2,5$	2,63
3	Berat Jenis Semu	-	$\geq 2,5$	2,74
4	Penyerapan Air	%	$\leq 3,0$	2,50

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 3. Hasil pengujian sifat fisik agregat halus (pasir)

No	Jenis Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil
1	Berat Jenis (Bulk)	-	$\geq 2,5$	2,58
2	Berat Jenis SSD	-	$\geq 2,5$	2,61
3	Berat Jenis Semu	-	$\geq 2,5$	2,67
4	Penyerapan Air	%	$\leq 3,0$	1,22

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 6. Analisa saringan split

Ukuran ayakan (mm)	Gradasi split		
	Berat (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif (%)
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	1281	15,47	15,47
9,5	2055	24,81	40,28
4,75	4159	50,22	90,50
2,36	648	7,82	98,33
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,074	0	0	100
Pan	138,5	1,67	100
Jumlah	8281,5	100	645
MHB	6,45		

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 4. Hasil pengujian sifat fisik agregat halus (keramik)

No	Jenis Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil
1	Berat Jenis (Bulk)	-	$\geq 2,5$	2,59
2	Berat Jenis SSD	-	$\geq 2,5$	2,59
3	Berat Jenis Semu	-	$\geq 2,5$	2,59
4	Penyerapan Air	%	$\leq 3,0$	0,07

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 5. Hasil Pengujian sifat fisik agregat halus (pasir + keramik)

No	Jenis Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil
1	Berat Jenis (Bulk)	-	$\geq 2,5$	2,54
2	Berat Jenis SSD	-	$\geq 2,5$	2,57
3	Berat Jenis Semu	-	$\geq 2,5$	2,63
4	Penyerapan Air	%	$\leq 3,0$	1,35

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 7. Analisa saringan pasir

Ukuran ayakan (mm)	Gradasi pasir		
	Berat (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif (%)
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
4,75	2,6	0,44	0,44
2,36	57,6	9,72	10,16
0,6	284,2	47,98	58,15
0,3	119,9	20,24	78,39
0,074	117,3	19,80	98,19
Pan	10,7	1,81	100
Jumlah	592,3	100	345
MHB	3,45		

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 8. Analisa saringan keramik

Ukuran ayakan (mm)	Gradasi keramik		
	Berat (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif (%)
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
4,75	8,9	1,91	1,91
2,36	113,9	24,46	26,37
0,6	250,6	53,81	80,18
0,3	35,9	7,71	87,89
0,074	26,2	5,63	93,52
Pan	30,2	6,48	100
Jumlah	465,7	100	390
MHB	3,90		

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 9. Analisa saringan pasir (50%) + keramik (50%)

Ukuran ayakan (mm)	Gradasi pasir + keramik		
	Berat (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif (%)
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
4,75	4,8	0,92	0,92
2,36	82,7	15,89	16,82
0,6	264,9	50,91	67,73
0,3	76,9	14,78	82,51
0,074	67,3	12,93	95,44
Pan	23,7	4,56	100
Jumlah	520,3	100	363
MHB	3,63		

Sumber : Hasil Pengujian

### Hasil Pengujian Sifat Bahan Aspal

Tabel 10. Hasil pengujian sifat fisik bahan aspal

No	Jenis Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis (25°C)	gr/cc	Min. 1	1,0389
2	Titik Nyala	°C	Min. 200	350
3	Penetrasi	0,1mm	60 - 79	73,25
4	Titik Lembek	°C	48-58	48
5	Daktilitas (25°C, 5cm/menit)	cm	Min. 100	112,067

Sumber : Hasil pengujian

### Perhitungan Komposisi Agregat

Tabel 11. Komposisi campuran (agregat halus pasir)

Komposisi campuran	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,6	0,3	0,074	
Split	45,0%	45	45	38,04	26,87	4,28	0,75			
Pasir	49,0%	49	49	49	49,0	48,78	44,02	20,51	10,59	
Filler	6,0%	6	6	6	6	6	6	6	6	
Jumlah	100%									
Total campuran		100	100	93,04	81,87	59,06	50,77	26,51	16,59	6,65

Tabel 12. Komposisi campuran (agregat halus keramik)

Komposisi campuran		25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,6	0,3	0,074
Split	36%	36	36	30,43	21,50	3,42	0,60			
Keramik	57,5%	58	58	58	57,5	56,40	42,34	11,40	6,96	3,73
Filler	6,5%	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,24
Jumlah	100%									
Total campuran		100	100	94,43	85,50	66,32	49,44	17,90	13,46	9,97

Tabel 13. Komposisi campuran (agregat halus pasir + keramik)

Komposisi campuran		25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,6	0,3	0,074
Split	45%	45	45	38,04	26,87	4,28	0,75			
Pasir + keramik	49,0%	49	49	49	49,0	48,56	40,77	15,83	8,58	2,23
Filler	6,0%	6	6	6	6	6	6	6	6	5,76
Jumlah	100%									
Total campuran		100	100	93,04	81,87	58,83	47,52	21,83	14,58	7,99

**Perhitungan Aspal Optimum**

- a. Aspal Optimum untuk desain campuran dengan agregat halus pasir  
 $= (0,035 \times 45\%) + (0,045 \times 49\%) + (0,18 \times 6\%) + 1$   
 $= 5.86\%$
- b. Aspal Optimum untuk desain campuran dengan agregat halus keramik  
 $= (0,035 \times 36\%) + (0,045 \times 57.5\%) + (0,18 \times 6.5\%) + 1$   
 $= 6.02\%$

- c. Aspal Optimum untuk desain campuran dengan agregat halus pasir + keramik  
 $= (0,035 \times 45\%) + (0,045 \times 49\%) + (0,18 \times 6\%) + 1$   
 $= 5.86\%$

**Perhitungan Kebutuhan Agregat dan Aspal**

Dari hasil perencanaan campuran yang telah dilakukan, maka jumlah kebutuhan agregat dan aspal adalah sebagai berikut :

Tabel 14. Kebutuhan agregat dan aspal

Volume benda uji (gr)	Jumlah Benda Uji	Variasi Agregat Halus	Berat Agregat			
			Agregat Kasar (gr)	Agregat Halus (gr)	Filler (gr)	Aspal (gr)
1200	5	Pasir	2700	2940	360	351,6
1200	5	Keramik	2160	3450	390	361,2
1200	5	Pasir (50%) + Keramik (50%)	2700	2940	360	351,6

**Pengujian Marshall**

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat Marshall, yaitu *Asphalt Stability Testing Machine* sehingga didapat nilai pembacaan

arloji stabilitas dan nilai *flow*. Untuk mendapatkan nilai stabilitas Marshall, nilai pembacaan arloji stabilitas dikalikan dengan faktor koreksi alat dan dikalikan dengan faktor koreksi benda uji.

Tabel 15. Hasil pengujian Marshall campuran dengan variasi agregat halus pasir (100%)

No.	Bacaan Arloji Stabilitas		Stabilitas dengan faktor koreksi alat	Stabilitas dengan faktor koreksi alat & koreksi benda uji	
	Stabilitas	Flow			
1	44	2,90	729,08	794,70	kg
2	44	3,60	729,08	794,70	kg
3	46	3,10	762,22	830,82	kg
4	50	3,30	828,5	828,50	kg
5	47	2,80	778,79	848,88	kg

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 16. Hasil pengujian Marshall campuran dengan variasi agregat halus keramik (100%)

No.	Bacaan Arloji Stabilitas		Stabilitas dengan faktor koreksi alat	Stabilitas dengan faktor koreksi alat & koreksi benda uji	
	Stabilitas	Flow			
1	40	3,50	662,8	788,73	kg
2	41	2,80	679,37	774,48	kg
3	43	3,10	712,51	812,2614	kg
4	44	3,60	729,08	758,2432	kg
5	42	3,50	695,94	828,1686	kg

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 17. Hasil pengujian Marshall campuran dengan variasi agregat halus pasir (50%) + keramik (50%)

No.	Bacaan Arloji Stabilitas		Stabilitas dengan faktor koreksi alat	Stabilitas dengan faktor koreksi alat & koreksi benda uji	
	Stabilitas	Flow			
1	45	4,00	745,65	812,76	kg
2	47	3,40	778,79	848,88	kg
3	43	3,00	712,51	812,2614	kg
4	55	3,90	911,35	911,35	kg
5	56	4,00	927,92	965,04	kg

Sumber : Hasil pengujian

### Uji T atau Student T test

Tabel 18. Uji T nilai stabilitas Marshall campuran dengan variasi agregat halus pasir (100%)

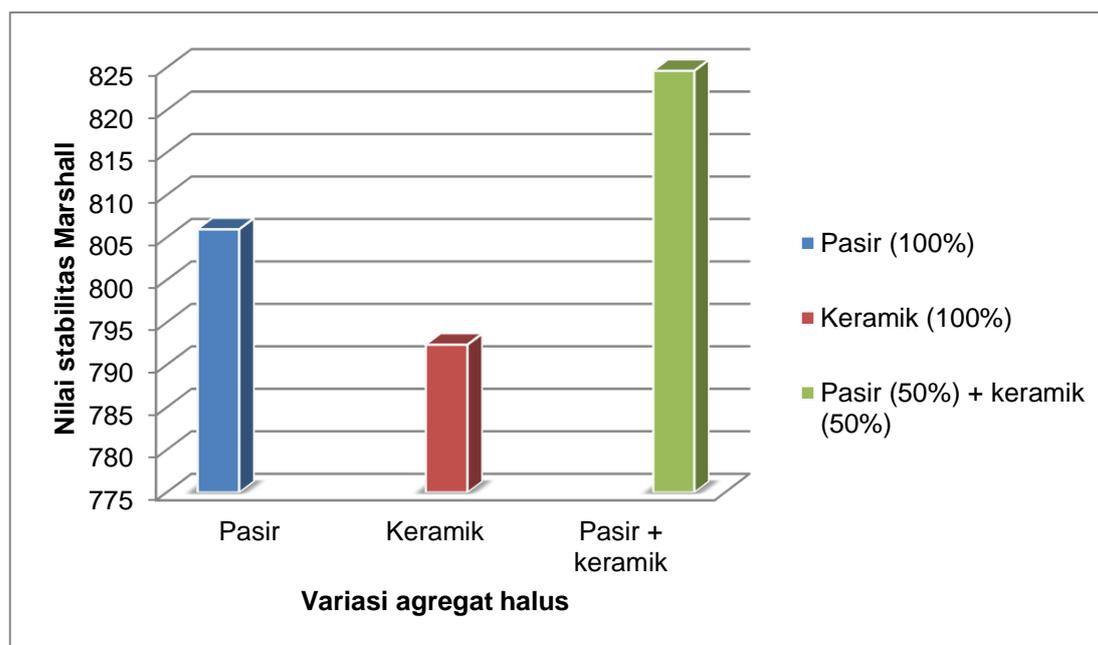
No. Sampel		Nilai Stabilitas (X)		$X - \mu_0$	s	vn	t hitung	t tabel	Keterangan
		Nilai Minimum Stabilitas ( $\mu_0$ ) =		800	kg				
1	2	794,70	kg	-5,30	23,99	2,24	-0,49397	2,78	Diterima
2	3	794,70	kg	-5,30			-0,49397		Diterima
3	4	830,82	kg	30,82			2,872479		Ditolak
4	5	828,50	kg	28,50			2,65625		Diterima
5		848,88	kg	48,88			4,555702		Ditolak
Rata - rata hasil yang diterima adalah						<b>805,97</b>	<b>kg</b>		

Tabel 19. Uji T nilai stabilitas Marshall campuran dengan variasi agregat halus keramik (100%)

No. Sampel		Nilai Stabilitas (X)		$X - \mu_0$	s	vn	t hitung	t tabel	Keterangan
Nilai Minimum Stabilitas ( $\mu_0$ ) = 800 kg									
1	788,73	kg	-11,27	28,18	2,24	2,78	-0,89441	2,78	Diterima
2	774,48	kg	-25,52				-2,02533		Diterima
3	812,26	kg	12,26				0,972984		Diterima
4	758,24	kg	-41,76				-3,31418		Diterima
5	828,17	kg	28,17				2,23564		Diterima
Rata - rata hasil yang diterima adalah						<b>792,38</b>	<b>kg</b>		

Tabel 20. Uji T nilai stabilitas Marshall campuran dengan variasi agregat halus pasir (50%) + keramik (50%)

No. Sampel		Nilai Stabilitas (X)		$X - \mu_0$	s	vn	t hitung	t tabel	Keterangan
Nilai Minimum Stabilitas ( $\mu_0$ ) = 800 kg									
1	812,76	kg	12,76	66,71	2,24	2,78	0,427731	2,78	Diterima
2	848,88	kg	48,88				1,638517		Diterima
3	812,26	kg	12,26				0,41097		Diterima
4	911,35	kg	111,35				3,732588		Ditolak
5	965,04	kg	165,04				5,532342		Ditolak
Rata - rata hasil yang diterima adalah						<b>824,63</b>	<b>kg</b>		



Gambar 1. Grafik perbandingan nilai stabilitas Marshall

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka didapat beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Campuran aspal beton dengan agregat halus keramik menghasilkan nilai stabilitas Marshall lebih kecil dari campuran aspal beton dengan agregat halus pasir.
2. Campuran aspal beton dengan agregat halus pasir menghasilkan nilai stabilitas Marshall lebih kecil dari campuran aspal beton dengan agregat halus pasir + keramik.
3. Dari hasil pengujian Marshall terlihat bahwa campuran aspal beton dengan agregat halus pasir yang dicampur dengan limbah potongan keramik menghasilkan nilai stabilitas Marshall yang paling baik. Campuran aspal beton ini memiliki nilai stabilitas Marshall yang tinggi karena campuran agregat pasir + keramik menghasilkan gradasi agregat yang rapat. Hal ini terlihat dari nilai VIM rata-rata sebesar 4.65% (memenuhi yang disyaratkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Seksi 6.3 Tentang Campuran Beraspal Panas Tahun 2010 Rev. 3).
4. Campuran aspal beton dengan limbah potongan keramik memiliki nilai stabilitas Marshall yang tidak memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3. Campuran aspal beton ini memiliki nilai stabilitas Marshall yang rendah karena agregat limbah potongan keramik memiliki gradasi agregat yang berongga. Hal ini terlihat dari nilai VIM rata-rata sebesar 6.66% (tidak memenuhi yang disyaratkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Seksi 6.3 Tentang Campuran Beraspal Panas Tahun 2010 Rev. 3).

## Daftar Pustaka

- Departemen Pekerjaan Umum, "**Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Dengan Kepadatan Mutlak**", Direktorat Jenderal Bina Marga, 1999.
- Departemen Pekerjaan Umum, "**Spesifikasi Umum Divisi 6.3 Tentang Campuran Beraspal Panas Revisi 3**", Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010.
- Harinaldi. "**Prinsip-prinsip Statistik Untuk Teknik Dan Sains**". Erlangga, Jakarta, 2005.
- Silvia Sukirman, "**Perkerasan Lentur Jalan Raya**", Nova, Bandung, 1999.
- Standar Nasional Indonesia, "**Agregat Halus, Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air, SNI 03-1970-1990**", Badan Standarisasi Nasional, 1990.
- Standar Nasional Indonesia, "**Agregat Kasar, Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air, SNI 03-1969-1990**", Badan Standarisasi Nasional, 1990.
- Standar Nasional Indonesia, "**Bahan Aspal, Metode Pengujian Penetrasi, SNI 2456:2011**", Badan Standarisasi Nasional, 2011.
- Standar Nasional Indonesia, "**Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras, SNI 2441:2011**", Badan Standarisasi Nasional, 2011.
- Standar Nasional Indonesia, "**Cara Uji Daktilitas Aspal, SNI 2432:2011**", Badan Standarisasi Nasional, 2011.
- Standar Nasional Indonesia, "**Cara Uji Titik Lembek Aspal Dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball), SNI 2434:2011**", Badan Standarisasi Nasional, 2011.
- Standar Nasional Indonesia, "**Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Dengan Alat Cleveland Open Cup, SNI 2433:2011**", Badan Standarisasi Nasional, 2011.

Standar Nasional Indonesia. **"Metode Uji Stabilitas dan Pelelehan Campuran Beraspal Panas Dengan**

**Menggunakan Alat Marshall, SNI 2489:1991"**. Badan Standarisasi Nasional, 1991.

