

**PENGARUH PENGGANTIAN AGREGAT HALUS DAN *FILLER*  
DENGAN LIMBAH KERAMIK TERHADAP KARAKTERISTIK  
MARSHALL CAMPURAN AC-BC**

*THE EFFECT OF REPLACING FINE AGGREGATE AND FILLER WITH CERAMIC  
WASTE ON THE MARSHALL CHARACTERISTICS OF AC-BC MIXTURE*

Artikel Ilmiah  
Untuk memenuhi persyaratan  
Mencapai derajat S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

**M. ISRA'DIN**

**F1A018059**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MATARAM**

**2023**

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH PENGGANTIAN AGREGAT HALUS DAN *FILLER*  
DENGAN LIMBAH KERAMIK TERHADAP KARAKTERISTIK  
MARSHALL CAMPURAN AC-BC**

Oleh:

**M. Isra'din  
FIA 018 059**

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing:

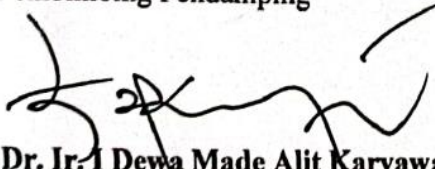
1. Pembimbing Utama



**Desi Widianty, ST., MT.**  
NIP. 1971010 1199802 2 001

Tanggal: 15 November 2023

2. Pembimbing Pendamping



**Dr. Ir. Dewa Made Alit Karyawan, MT.**  
NIP. 19660718 199702 1 001

Tanggal: 15 November 2023

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Mataram



**Hariyadi, ST., MSc(Eng), Dr.Eng.**  
NIP. 19731027 199802 1 001

ARTIKEL ILMIAH

PENGARUH PENGGANTIAN AGREGAT HALUS DAN *FILLER*  
DENGAN LIMBAH KERAMIK TERHADAP KARAKTERISTIK  
MARSHALL CAMPURAN AC-BC

Oleh:

M. Isra'din  
F1A 018 059

Telah diperiksa di depan Tim Penguji  
Pada tanggal 10 November 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1  
Jurusan Teknik Sipil

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I



Dr. Made Mahendra, ST., MT.  
NIP. 19660626 199412 1 001

Tanggal: 15 November 2023

2. Penguji II



Ratna Yundarti, ST., MSc(Eng).  
NIP. 19680620 199412 2 001

Tanggal: 15 November 2023

3. Penguji III



Rohani, ST., MT.  
NIP. 19671231 199512 2 001

Tanggal: 15 November 2023

Mataram, November 2023  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Mataram



Muhammad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19720222 199903 1 002

# PENGARUH PENGGANTIAN AGREGAT HALUS DAN *FILLER* DENGAN LIMBAH KERAMIK TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-BC

M. Isra'din<sup>1</sup>, Desi Widianty<sup>2</sup>, I Dewa Made Alit Karyawan<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

---

## ABSTRAK

Jalan raya merupakan salah satu prasarana penting dalam transportasi moda darat. Hal ini karena fungsi strategis yang dimiliki yakni sebagai penghubung antar satu daerah dengan daerah lain. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), panjang jalan di Indonesia menurut kewenangannya mencapai 348.083 km pada tahun 2000. Dalam dua dekade, panjang jalan tersebut telah bertambah menjadi 549.161 km pada tahun 2022. Dengan meningkatnya pembangunan jalan, maka akan berpengaruh terhadap ketersediaan material alam. Salah satu upaya untuk mengurangi keterbatasan atau mengurangi penggunaan material alam adalah melakukan penggantian atau substitusi dengan bahan lain yang memiliki sifat yang sama atau mendekati dengan bahan alam sebagai contoh limbah keramik.

Pengujian dimulai dari pemeriksaan agregat dan aspal. Selanjutnya dibuat benda uji dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, setelah melalui proses pengujian volumetrik dan mekanik diperoleh nilai KAO sebesar 6%. Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji dengan variasi persentase agregat halus alam (AA) dan limbah keramik (AK) menggunakan kombinasi 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, 100%:0% dan juga menggunakan kombinasi *filler* 5% limbah keramik (FK) dan 95% abu batu (AB). Pengujian marshall dilakukan pada seluruh benda uji, dilakukan analisa terhadap data yang diperoleh. Dari hasil pengujian didapatkan nilai VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, MQ, dan IKS. Setiap parameter yang tercantum dalam persyaratan campuran digambarkan batas spesifikasinya pada grafik dan ditentukan rentang variasi persentase limbah keramik (AK) yang memenuhi persyaratan.

Campuran AC-BC yang ditambahkan limbah keramik (AK) menghasilkan nilai VMA dan VIM yang semakin meningkat seiring bertambahnya kadar limbah keramik (AK). Sedangkan nilai VFB, stabilitas, *flow*, dan MQ mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar limbah keramik (AK). Campuran dengan kadar limbah keramik (AK) hingga 39,29% memenuhi persyaratan Bina Marga Revisi 2. Namun, penambahan limbah keramik (AK) diatas 39,29% akan mengakibatkan aspal dalam campuran banyak terserap oleh limbah keramik (AK), sehingga daya ikat antara agregat akan berkurang, menjadi rapuh, dan kekuatannya menurun. Dari lima variasi agregat halus, yang menghasilkan nilai indeks kekuatan sisa (IKS) tertinggi adalah pada variasi campuran 25% AK : 75% AA dengan nilai sebesar 98,48%.

**Kata Kunci:** Laston AC-BC, Limbah Keramik, IKS

## I. PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan salah satu prasarana penting dalam transportasi moda darat. Hal ini karena fungsi strategis yang dimiliki yakni sebagai penghubung antar satu daerah dengan daerah lain. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), panjang jalan di Indonesia menurut kewenangannya mencapai 348.083 km pada tahun 2000. Dalam dua dekade, panjang jalan tersebut telah bertambah menjadi 549.161 km pada tahun 2022. Seiring dengan bertambahnya panjang jalan maka diperlukan material alam yang banyak untuk mendukung keberlangsungan pembangunan jalan.

Meningkatnya pembangunan jalan, maka akan berpengaruh terhadap ketersediaan material alam, yang dalam hal ini sebagai bahan susun lapis perkerasan seperti material pengisi (*filler*) abu batu yang hanya tersedia pada *stone crusher* dengan jumlah yang terbatas. Selain itu agregat alam seperti pasir sungai yang dimana pemanfaatannya saat ini dirasakan dapat mengganggu ekosistem sungai dan lingkungan, penambangan pasir yang dilakukan secara terus-menerus dapat menyebabkan tanah disepanjang pinggiran sungai menjadi longsor, peningkatan erosi dan sedimentasi, penurunan kualitas air dan penurunan dasar sungai. Salah satu upaya untuk mengurangi keterbatasan atau mengurangi penggunaan material alam, maka salah satu alternatif untuk mengatasi masalah ini adalah melakukan penggantian atau substitusi dengan bahan lain dengan sifat fisik maupun sifat kimia yang sama atau mendekati dengan bahan alam sebagai contoh limbah keramik.

Limbah keramik adalah limbah yang berasal dari pabrik keramik atau limbah dari sisa pekerjaan konstruksi bangunan. Bahan umum atau bahan utama keramik adalah tanah liat (*clay*), yaitu deposit partikel terhalus akibat proses pelapukan batuan-batuan tertentu. Komposisi utamanya adalah alumina, silikat, kaolin ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), yang berasal dari batuan felspatik (felspar yang secara alami dihancurkan oleh keasaman tanah). Macam atau jenis tanah liat tergantung pada kondisi di mana tanah liat terdeposit, dan perilaku kandungan-kandungan yang membentuk tanah liat itu sendiri (Rangkuti dkk. 2008). Sekitar 100 juta ton keramik diproduksi setiap tahunnya di seluruh dunia, dan

kurang lebih 15% sd 30% menjadi limbah yang tidak terpakai (Awoyera dkk. 2021). Pemanfaatan limbah keramik saat ini yang sering kita jumpai adalah sebagai bahan timbunan saja, dengan memanfaatkan limbah keramik sebagai agregat halus dan *filler* bisa menjadi alternatif lain sebagai material pengganti dan dapat mengurangi jumlah penggunaan material alam serta memanfaatkan limbah sebagai bahan daur ulang. Hal ini sesuai dengan kesepakatan internasional untuk menerapkan pembangunan berwawasan lingkungan, beberapa cara yang dapat dilakukan adalah mengurangi penggunaan sumber daya alam dan memaksimalkan pemanfaatan bahan buangan atau limbah (Johnson, 1993).

Contoh pemanfaatan limbah keramik adalah pada campuran pembuatan blok perkerasan, limbah keramik dapat digunakan sebagai bahan tambah atau sebagai bahan pengganti semen dan pasir. Hal ini karena limbah keramik memiliki kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang tinggi sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai material pozolan yang memiliki sifat penyemenan (Ray dkk. 2021). Sehingga blok perkerasan dengan campuran limbah keramik memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi. Bahkan, dapat digunakan untuk pembuatan jalan yang dilalui kendaraan berat (Dubale dkk. 2022).

Pasir sebagian besar terdiri dari mineral quartz dan feldspar (Das, 1995). Pasir di Indonesia umumnya mengandung mineral Silika, Besi, dan Kalsium. Namun kadar mineralnya pasti bervariasi antara suatu lokasi dengan lokasi yang lain. Umumnya pula kandungan mineral di suatu daerah akan sama, baik jenis dan persentasenya. Namun belum ada data spesifik mengenai kandungan mineral pada pasir daerah tertentu lengkap dengan persentasenya. (Purnawan dan Karina, 2014) mengungkapkan bahwa kandungan mineral logam berat pada pasir dapat menggambarkan daerah asal karena tipe bebatuan yang berbeda memiliki kandungan mineral logam berat yang berbeda.

## II. LANDASAN TEORI

Fasdarsyah dan Syahlendra (2014) dalam penelitiannya yaitu membandingkan pengaruh penggunaan *filler* granit dan *filler* keramik terhadap karakteristik uji *marshall* pada campuran laston AC-WC. Hasil dari penelitian ini adalah nilai

parameter *marshall* yang telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 untuk keramik terdapat pada varian 5% dengan nilai *density* sebesar 2,322 gr/cm<sup>3</sup>, VMA sebesar 17,15%, VITM sebesar 4,94%, VFWA sebesar 71,22%, stabilitas sebesar 1885 kg, *flow* sebesar 3,17 mm dan MQ sebesar 598 kg/mm sedangkan granit terdapat pada varian 5% dan 10% dengan nilai *density* sebesar 2,322 gr/cm<sup>3</sup>, VMA sebesar 17,17%, VITM sebesar 4,96%, VFWA sebesar 71,16%, stabilitas sebesar 2680 kg, *flow* sebesar 3,21 mm dan MQ sebesar 838 kg/mm.

Arliningtyas dan Nadia (2017) melakukan pengujian *marshall* dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat pada perkerasan AC-WC. Campuran aspal beton yang menghasilkan nilai stabilitas *marshall* terbaik adalah campuran dengan variasi agregat halus 50% pasir dicampur dengan 50% limbah pecahan keramik, yaitu dengan rata-rata 824.63 kg.

Angka dan Syahlendra (2019) melakukan penelitian pemanfaatan limbah keramik sebagai pengganti abu batu pada campuran aspal beton AC-BC dengan variasi limbah keramik lantai 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% sebagai bahan pengganti abu batu. Dari hasil pengujian *marshall* dapat diambil untuk nilai penggunaan kadar limbah keramik lantai yang diizinkan adalah 0% hingga 58% dilihat dari parameter *marshall* yang seluruhnya memenuhi spesifikasi.

Putra dan Wahdana (2019) Penelitian ini memanfaatkan limbah keramik yang telah dihaluskan sebagai tambahan. Dari pengujian *marshall* yang telah dilakukan, hasil yang memenuhi seluruh spesifikasi adalah pada penambahan kadar limbah keramik sebesar 25% dimana diperoleh nilai VIM sebesar 4,09%, nilai VMA sebesar 15,52%, VFB sebesar 73,65%, nilai *flow* sebesar 2,50 mm, nilai stabilitas sebesar 1299,83 kg dan nilai *marshall* quotient sebesar 519,93 kg/mm. Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai stabilitas dengan penambahan limbah keramik lebih tinggi dibandingkan tanpa tambahan limbah keramik dan nilai *flow* yang diperoleh lebih rendah dibandingkan tanpa tambahan limbah keramik, untuk kadar optimum

penambahan limbah keramik adalah sebesar 16,05%.

## 1. Aspal

Menurut Sukirman (2016), aspal diartikan sebagai suatu bahan pengikat (*viscous cementitious material*)), berwarna hitam atau coklat tua, bahan utamanya adalah bitumen. Pada suhu kamar, aspal tebal hingga agak padat dan bersifat termoplastik.

## 2. Agregat

Agregat sering diartikan sebagai formasi keras dan padat pada kerak bumi. ASTM mendefinisikan agregat sebagai bahan yang tersusun dari mineral padat, baik dalam bentuk curah maupun pecahan. Menurut Bina Marga (2018) agregat dikelompokkan menjadi: agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

### a. Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 4 (4.75mm). Agregat kasar pada suatu campuran aspal berfungsi memberikan kekuatan yang pada akhirnya mempengaruhi kestabilan campuran, mengikat kondisi ikatan masing-masing partikel agregat. Agregat kasar berperan sebagai penambah volume campuran yang tahan terhadap leleh (*flow*) dan meningkatkan kestabilan.

### b. Agregat halus

Agregat halus terdiri dari agregat hasil penghancur batu (abu batu) atau pasir alam dengan ukuran yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) yang tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Agregat halus dapat berupa pasir, batu pecah atau kombinasi keduanya. Fungsi utama agregat halus adalah menjaga kestabilan dan mengurangi deformasi permanen campuran melalui ikatan dan gesekan antar partikel.

### c. Bahan Pengisi (*filler*)

*Filler* adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan No. 200 atau ukuran 0,075 mm. *Filler* dapat terdiri dari abu batu kapur (*limestone dust*), *cement portland*, *fly ash*, abu tanur semen, abu batu atau bahan non plastis lainnya. Fungsi *filler* pada campuran adalah:



- 1) Untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
- 2) *Filler* dan aspal secara bersamaan akan membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar.
- 3) Mengisi ruang antar agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan.

### 3. Keramik

Bahan baku keramik yang umum digunakan adalah tanah liat, silika dan batu kapur. Sifat-sifat keramik sangat ditentukan oleh struktur kristal, komposisi kimia, dan mineral yang terkandung di dalamnya. Oleh karena itu, sifat keramik juga bergantung pada lingkungan geologi tempat bahan tersebut diperoleh. Keramik memiliki kekuatan tekan yang lebih baik daripada kekuatan tarik. (Sihite, 2008).

Keunggulan keramik secara umum adalah titik leleh yang tinggi, tahan suhu tinggi, tahan gesekan, tahan korosi, konduktivitas termal rendah, densitas relatif rendah, dan koefisien muai panas rendah (Irawan, 2010).

### 4. Aspal Beton

Menurut Sukirman (2016), secara umum perkerasan aspal dapat diartikan sebagai suatu lapisan dalam konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi dan aspal sebagai bahan pengikat, kemudian dicampur, disebar dan dipadatkan pada suhu tertentu. suhu.

### 5. Fungsi Aspal Beton

Menurut Sukirman (2016) karakteristik aspal beton yang diutamakan pada campuran adalah stabilitas. Sesuai dengan fungsinya Laston terdiri dari 3 macam campuran yaitu:

- a. Laston sebagai lapisan aus, atau disebut juga AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) merupakan lapis perkerasan yang terletak paling atas, berhubungan langsung dengan roda kendaraan sehingga dirancang untuk tahan perubahan cuaca, tekanan roda, gaya geser, dan memberikan lapis kedap air untuk lapisan dibawahnya. Ukuran agregat

maksimum adalah 19 mm dan tebal nominal minimum AC-WC adalah 4 cm.

- b. Laston sebagai lapisan antara, atau disebut juga AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*). Ukuran agregat maksimum adalah 25,4 mm dan tebal nominal minimum AC-BC adalah 5 cm. Fungsi lapisan perantara adalah untuk mengurangi tegangan pada lapisan perkerasan dan memikul beban lalu lintas secara maksimal. Kegunaan AC-BC adalah untuk lapisan tengah (kedua dari atas) dan teksturnya lebih kasar dibandingkan dengan grade AC-WC Laston.
- c. Laston membuat lapisan dasar yang disebut juga AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*), ukuran agregat maksimum adalah 37,5 mm dan tebal nominal minimum AC-Base adalah 6 cm.

### 6. Sifat Volumetrik Campuran Aspal

Menurut Sukirman (2016), sifat volumetrik campuran aspal adalah sifat fisik campuran yang digunakan untuk evaluasi awal desain campuran aspal sebagai subjek uji laboratorium. Sifat volumetrik campuran aspal meliputi massa jenis, rongga udara, dan tebal lapisan aspal.

#### 1. Berat jenis (*specific gravity*)

- a. Berat jenis bulk campuran total agregat

$$G_{sb} = \frac{P_1 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}}$$

- b. Berat jenis efektif dari total campuran agregat

$$G_{se} = \frac{P_1 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}}$$

- c. Berat jenis maksimum campuran aspal

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

- d. Berat jenis bulk ( $G_{mb}$ )

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a}$$

#### 2. Rongga udara (*air void*)

- a. Rongga pori diantara mineral agregat (VMA)

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}$$

- b. Rongga pori dalam campuran beraspal (VIM)

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

- c. Rongga pori yang terisi aspal (VFB)

$$VFB = \frac{100 \times (VMA - VIM)}{VMA}$$

## 7. Pengujian Aspal Beton

### 1. Uji Marshall

Kinerja campuran aspal dapat diuji dengan menggunakan alat uji Marshall. Parameter yang digunakan dalam uji Marshall adalah:

- a. Stabilitas marshall

$$S = q \times C \times k$$

- b. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*flow*) merupakan total deformasi yang dinyatakan dalam milimeter (mm) yang terjadi pada sampel padat dari campuran perkerasan hingga mencapai titik beban maksimum pada saat pengujian stabilitas *Marshall*.

- c. *Marshall quotient*

$$MQ = \frac{MS}{MF}$$

2. Uji perendaman *marshall* (*Marshall Immersion*)

$$IKS: \frac{S_2}{S_1} \times 100\%$$

## III. METODE PENELITIAN

### 1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Transportasi dan Rekayasa Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.

### 2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar, agregat halus, abu batu dan aspal minyak penetrasi 60/70
2. Limbah keramik didapatkan dari sisa pekerjaan konstruksi bangunan di sekitaran kota Mataram yang dijadikan agregat halus dan *filler*.

## 3. Pelaksanaan Penelitian

### Pengujian Bahan

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap material/bahan aspal, agregat alam dan limbah keramik yang digunakan sebagai penyusun campuran perkerasan.

### Penentuan Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal rencana (*Pb*) adalah kadar aspal yang menjadi acuan untuk membuat benda uji. Kadar aspal rencana (*Pb*) dapat dihitung menggunakan rumus persamaan berikut ini:

$$Pb = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + \text{Konstanta}$$

dengan:

*Pb* = Kadar aspal perkiraan.

*CA* = Agregat kasar tertahan saringan No. 4.

*FA* = Agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200.

*FF* = Agregat halus lolos saringan No.200.

*K* = Konstanta 0,5 – 1,0 untuk laston (nilai konstanta yang dipakai yaitu 1,0)

### Rancangan Percobaan

Pembuatan benda uji (*Briket*) dengan Kadar Aspal Optimum (*KAO*) yang telah ditentukan sebelumnya juga dibuat sebanyak 3 buah benda uji (*Briket*) untuk masing-masing variasi persentase agregat halus antara agregat alam (*AA*) dan limbah keramik (*AK*). Variasi yang digunakan yaitu 0% *AA* : 100% *AK*, 25% *AA* : 75% *AK*, 50% *AA* : 50% *AK*, 75% *AA* : 25% *AK*, 100% *AA* : 0% *AK*. Pembuatan benda uji (*Briket*) dengan *KAO* menggunakan agregat halus kombinasi antara agregat alam (*AA*) dan limbah keramik (*AK*) dengan persentase *filler* 5% limbah keramik (*FK*) + 95% abu batu (*AB*).

### Analisa Data

#### 1. Analisa Data Penentuan *KAO*

Data-data yang sudah diperoleh dari serangkaian percobaan seperti *VIM*, *VMA*, *VFB*, stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* selanjutnya dibuatkan grafik hubungan antara variasi kadar aspal dengan karakteristik marshall

#### 2. Analisa Data Kombinasi Agregat Halus

Pengujian benda uji dengan menggunakan kombinasi antara limbah keramik (*AK*) sebagai agregat halus dan agregat alam (*AA*) dengan



persentase yang telah ditentukan. Data-data yang telah terkumpul adalah nilai-nilai seperti VIM, VMA, VFB, Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient*. Selanjutnya dibuatkan grafik hubungan antara variasi campuran agregat halus dengan parameter pengujian.

### 3. Analisa Data Indek Kekuatan Sisa (IKS)

Menghitung parameter sifat mekanis campuran untuk melihat pada variasi campuran berapa yang menghasilkan indeks kekuatan sisa terbesar. Dibuatkan grafik perbandingan nilai Stabilitas perendaman 30 menit dengan perendaman 24 jam. Setelah mendapatkan nilai grafik perbandingan selanjutnya dibuat tabel yang menunjukkan persentase stabilitas sisa dari masing-masing nilai *Marshall standart* dan *Immersion Test*. Analisis grafik akan menunjukkan bagaimana pengaruh antara agregat halus limbah keramik (AK) dan agregat alam (AA) yang ditinjau dari pengujian.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Pengujian Aspal

Pengujian bahan aspal dilakukan untuk mengetahui karakteristik aspal yang akan digunakan sebagai bahan pengikat campuran. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4.1** Hasil pengujian aspal penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Spesifikasi (*)	Hasil Pengujian (**)
1	Penetrasi pada suhu 25°C (0.1 mm)	60/70	65.8
2	Titik lembek °C	≥48	51
3	Titik nyala °C	≥232	300
4	Daktalitas pada 25°C (cm)	≥100	136
5	Berat jenis	≥1,0	1.033
6	Kehilangan berat (%)	≤0,8	0.214

(\*)Sumber: *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2*

(\*\*)Sumber: *Hasil Pengujian (2023)*

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Agregat

No	Pengujian Agregat	Syarat (*)	Hasil Pengujian(**)				
			Agregat Kasar	Agregat Halus		Filler	
			Alam	Keramik	Abu batu	Keramik	
1	Keausan Impact (%)	Maks. 30%	16.69	-	-	-	-
2	Berat Jenis Bulk		2.68	2.65	2.12	2.57	2.16
3	Berat Jenis SSD	Min. 2,5	2.72	2.70	2.26	2.59	2.19
4	Berat Jenis Semu		2.78	2.81	2.46	2.63	2.22
5	Penyerapan (%)	Maks. 3%	1.30	2.14	6.51	0.86	1.09

(\*)Sumber: *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2*

(\*\*)Sumber: *Hasil Pengujian (2023)*

### 2. Hasil Pengujian Agregat

Agregat dalam campuran aspal beton yaitu agregat kasar, agregat halus dan filler juga diuji untuk mengetahui ketahanan agregat. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

### 3. Pemilihan Gradasi Campuran

Untuk mendapatkan hasil yang optimum maka digunakan nilai tengah dari gradasi pada **Tabel 4.3** yang disyaratkan. Agregat yang digunakan sebanyak 94% yang terdiri dari 45% agregat kasar (CA), 49% agregat halus (FA), dan 6% adalah bahan pengisi (*filler*) (FF) dari total agregat campuran. Setelah mendapatkan proporsi masing-masing fraksi agregat maka dicari kadar aspal rencana (Pb) dengan rumus:

$$Pb = (0,0035 \times \%CA) + (0,045 \times \%FA) + (0,18 \times \%FF) + K.$$

$$Pb = (0,0035 \times 45) + (0,045 \times 49) + (0,18 \times 6) + 1$$

$$Pb = 5,9 \approx 6\%$$

Didapatkan nilai kadar aspal rencana adalah 6% yang selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk membuat variasi kadar aspal yaitu 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%.

#### 4. Menentukan Kadar Aspal Optimum

Dari variasi kadar aspal yang sudah didapatkan, dibuat benda uji sebanyak 3 buah untuk masing-masing variasi kadar aspal berjumlah 15 buah benda uji. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan sifat volumetrik yaitu nilai VIM, VMA, VFB dan sifat mekanik yaitu Stabilitas, *Flow*, *Marshall quotient*. Nilai kadar aspal optimum ditentukan dari nilai tengah dari kadar aspal rencana yang memenuhi semua spesifikasi sehingga didapat nilai KAO sebesar 6%.

Data hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

#### 5. Hasil Pemeriksaan Campuran Kombinasi Agregat Halus

Pemeriksaan sifat volumetrik dan mekanis campuran kombinasi agregat halus antara agregat alam (AA) dengan limbah keramik (AK) dengan persentase adalah 0% AA : 100% AK, 25% AA : 75% AK, 50% AA : 50% AK, 75% AA : 25% AK, 100% AA : 0% AK menggunakan kombinasi *filler* limbah keramik (FK) dan abu batu (AB) dengan persentase 5%:95% dilakukan untuk mengetahui pengaruh limbah keramik (AK) terhadap nilai

VMA, VIM dan VFB, Stabilitas, *flow* dan MQ. Pemeriksaan dilakukan pada semua kombinasi dengan jumlah benda uji sebanyak 3 buah untuk masing-masing kombinasi. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

**Tabel 4.3** Gradasi Agregat Untuk Laston AC-BC

Ukuran Ayakan		Berat Lolos (%)
ASTM	mm	
1 1/2"	37.5	-
1"	25	100
3/4"	19	90 - 100
1/2"	12.5	75 - 90
3/8"	9.5	66 - 82
No. 4	4.75	46 - 64
No. 8	2.36	30 - 49
No. 16	1.18	18 - 38
No. 30	0.6	12 - 28
No. 50	0.3	7 - 20
No. 100	0.15	5 - 13
No. 200	0.075	4 - 8

Sumber: *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2*

**Tabel 4.4** Hasil Pengujian Marshall dan Volumetrik Campuran

No	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (*)					Syarat (**)
		5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%	
1	VMA (%)	13.95	14.75	15.10	16.12	16.13	Min. 14%
2	VIM (%)	4.28	3.94	3.11	3.04	1.81	3%-5%
3	VFB (%)	70.01	73.39	79.41	81.12	88.81	Min. 65%
4	Stabilitas (Kg)	2977.28	2889.02	2403.98	2058.91	1988.46	Min. 800 Kg
5	<i>Flow</i> (mm)	2.76	2.85	2.95	3.73	4.94	2-4 mm
6	MQ (Kg/mm)	1079.14	1029.73	822.71	552.56	402.85	Min. 250 Kg/mm

(\*)Sumber: *Hasil Perhitungan*.

(\*\*)Sumber: *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2*.

**Tabel 4.5** Hasil Pengujian Marshall dan Volumetrik Campuran

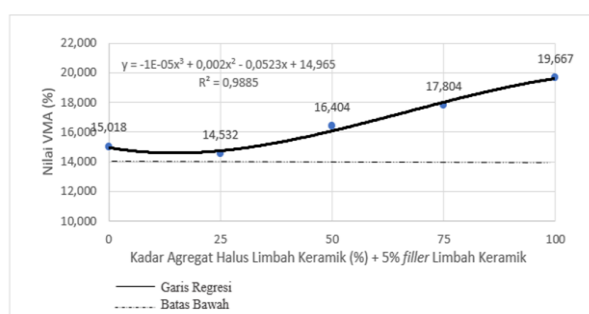
No	Karakteristik Campuran	Kadar Limbah Keramik dengan <i>filler</i> Limbah keramik 5% (*)					Syarat (**)
		0%	25%	50%	75%	100%	
1	VMA (%)	15.02	14.53	16.40	17.80	19.67	Min. 14%
2	VIM (%)	3.02	3.44	6.46	8.88	11.73	3%-5%
3	VFB (%)	79.88	76.31	60.60	50.16	40.36	Min. 65%
4	Stabilitas (Kg)	2038.55	2206.20	1980.15	1778.11	1615.67	Min. 800 Kg
5	<i>Flow</i> (mm)	3.96	3.81	3.55	3.50	3.09	2-4 mm
6	MQ (Kg/mm)	515.36	565.40	558.24	500.02	454.33	Min. 250 Kg/mm

(\*)Sumber: *Hasil Perhitungan*.

(\*\*)Sumber: *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2*

### VMA (Void in the Mineral Aggregate)

Hasil pemeriksaan VMA terhadap semua benda uji kombinasi antara agregat halus agregat alam (AA) dengan limbah keramik (AK) menunjukkan bahwa syarat nilai VMA sudah terpenuhi yaitu minimal 14 % seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Nilai VMA pada kombinasi campuran 100 % A / 0 % AK sebesar 15,018 %, kemudian turun pada kombinasi campuran 75 % AA / 25 % AK sebesar 14,532 %, kemudian Kembali meningkat pada kombinasi campuran 50 % AA / 50 % AK – 0 % AA / 100 % AK dengan nilai berturut-urut sebesar 16,404 %, 17,804 % dan 19,667 %. Hal ini disebabkan karena pada kombinasi campuran 75 % AA / 25 % AK, limbah keramik (AK) mengisi rongga-rongga sehingga campuran menjadi padat dan rongga antara agregat berkurang, Seiring bertambahnya kadar limbah keramik, volume rongga dalam campuran meningkat dikarenakan sifat dari keramik yang memiliki banyak rongga dan berat jenisnya kecil menyebabkan volume dari campuran meningkat dan rongga untuk menampung aspal dalam campuran meningkat. Nilai korelasi (r) diperoleh sebesar 0.9942 ( $0,8 \leq r \leq 1$ ) yang artinya limbah keramik sangat kuat berpengaruh terhadap nilai VMA. Karena seiring dengan bertambahnya kadar limbah keramik nilai VMA mengalami peningkatan maka korelasi ini merupakan korelasi positif. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang diperoleh adalah sebesar 0,9885.

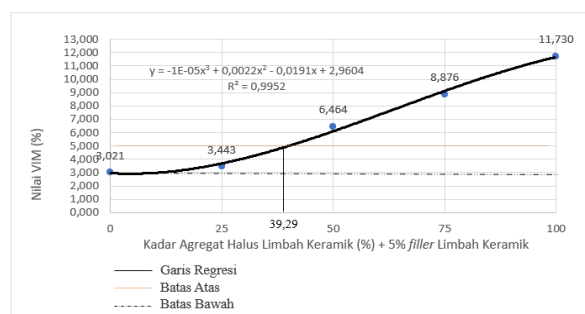


**Gambar 4.1** Hubungan Nilai VMA Dengan Persentase Limbah Keramik

### VIM (Void In the Mix)

Data pada **Tabel 4.5** menunjukkan bahwa hanya kombinasi agregat halus 100% AA / 0% AK dan 75% AA / 25% AK yang memenuhi nilai VIM yang disyaratkan yaitu 3,0%-5,0%. Jika ditinjau dari nilai VIM kombinasi agregat halus terendah terdapat

pada campuran 100% AA / 0% AK yaitu sebesar 3,021% dan nilai VIM tertinggi terdapat pada campuran 0% AA / 100% AK yaitu sebesar 11,730%. Nilai VIM yang terlalu tinggi akan menyebabkan campuran cenderung rapuh, dan retak secara dini, sedangkan nilai VIM terlalu kecil akan menyebabkan campuran tidak stabil dan mengakibatkan terjadi kelelahan atau plastis yang lebih besar. **Gambar 4.2** menunjukkan bahwa nilai VIM pada campuran meningkat seiring bertambahnya kadar limbah keramik yang digunakan. Hal ini disebabkan karena limbah keramik mengandung banyak pori sehingga setelah campuran dipadatkan menyisakan rongga udara yang besar. Berdasarkan pengujian, limbah keramik memiliki nilai berat jenis yang rendah dibandingkan dengan agregat alam. Dengan berat campuran yang sama, maka keramik memiliki volume yang lebih besar daripada volume agregat alam. sehingga seiring bertambahnya penggunaan limbah keramik maka persentase rongga udara dalam campuran semakin besar. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang diperoleh adalah 0,9952. Sedangkan nilai korelasinya sebesar 0,9976 ( $0,8 \leq r \leq 1$ ) yang berarti hubungan antara nilai VIM dengan persentase limbah keramik menunjukkan korelasi yang sangat kuat. Pada **Gambar 4.9**, kadar limbah keramik maksimal yang memenuhi syarat sebesar 39,29%.

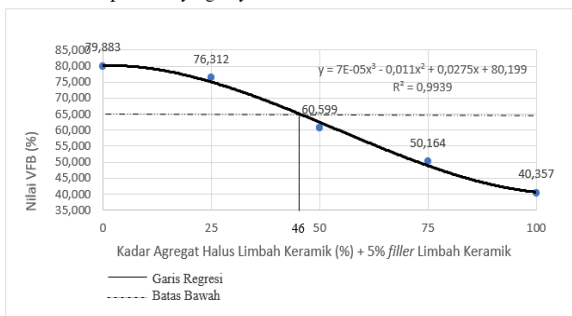


**Gambar 4.2** Hubungan Nilai VIM Dengan Persentase Limbah Keramik

### VFB (Volume of void Filled with Bitumen)

Dilihat dari **Table 4.5** nilai VFB yang memenuhi syarat hanya pada variasi persentase 100% AA / 0% AK dan 75% AA / 25% AK yaitu 79,883 % dan 76,312 %. Nilai VFB dalam spesifikasi yang disyaratkan adalah minimal 65 %. Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3**

bahwa nilai VFB menurun seiring dengan penambahan kadar limbah keramik. Penambahan limbah keramik akan menurunkan berat jenis gabungan campuran sehingga akan meningkatkan volume campuran beton aspal. Meningkatnya volume campuran menyebabkan jumlah rongga dalam campuran semakin banyak dan dengan jumlah aspal yang sama, maka rongga-rongga udara yang terisi aspal semakin rendah. Hal ini disebabkan karena sifat keramik yang berongga dan memiliki nilai penyerapan yang besar sehingga aspal masuk ke rongga keramik dan mengakibatkan jumlah aspal yang menyelimuti agregat berkurang. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9939. Jika dilihat dari nilai korelasi yaitu sebesar -0,9969 ( $-0,8 \leq r \leq -1$ ) yang menunjukkan bahwa hubungan keduanya saling berpengaruh sangat kuat. Kadar limbah keramik yang memenuhi persyaratan adalah sebesar 46 %

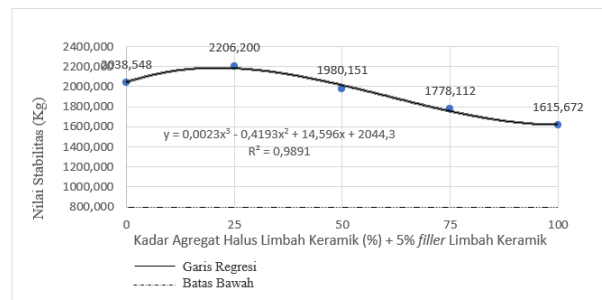


**Gambar 4.3** Hubungan VFB Dengan Persentase Limbah Keramik

### Stabilitas

Berdasarkan data pada **Tabel 4.6** diperoleh nilai stabilitas untuk semua persentase limbah keramik memenuhi persyaratan sebesar minimal 800 kg dengan stabilitas maksimum sebesar 2206,200 kg pada kombinasi 75% AA / 25% AK dan stabilitas minimum sebesar 1615,672 kg pada kombinasi 0% AA / 100% AK. Berdasarkan **Gambar 4.4** pada campuran 100 % AA / 0 % AK diperoleh nilai sebesar 2038,548 Kg, kemudian naik pada kombinasi campuran 75 % AA / 25 % AK dengan nilai 2206,200 Kg dan Kembali turun pada kombinasi campuran 50 % AA / 50 % AK, 25 % AA / 75 % AK dan 0 % AA / 100 % AK dengan nilai berturut-turut sebesar 1980,151 Kg, 1778,112 Kg dan 1615,672 Kg. Hal ini disebabkan karena pada campuran 75 % AA / 25 % AK lebih padat dibandingkan dengan 100 % AA / 0 % AK karena

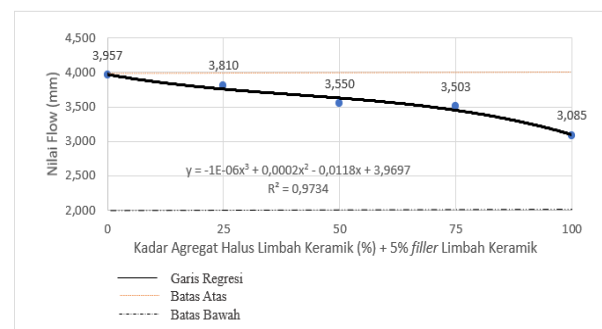
limbah keramik pada saat dipadatkan mengisi rongga yang ada sehingga meningkatkan nilai stabilitas. Nilai determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9891. Sedangkan nilai korelasi ( $r$ ) sebesar -0,9945 ( $-0,8 \leq r \leq -1$ ) yang berarti kadar limbah keramik sangat kuat pengaruhnya terhadap nilai stabilitas. Nilai tersebut bernilai negatif dimana semakin bertambahnya persentase limbah keramik yang digunakan maka nilai stabilitas semakin menurun.



**Gambar 4.4** Hubungan Stabilitas Dengan Persentase Limbah keramik

### Flow

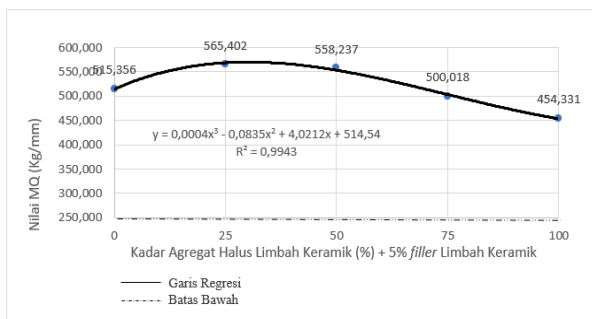
Kelelahan plastis menunjukkan tingkat kelenturan lapis perkerasan. Untuk nilai *flow* disyaratkan 2 mm - 4 mm. Nilai *flow* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.5** bahwa semua kombinasi campuran memenuhi persyaratan. Seiring bertambahnya kadar limbah keramik membuat campuran menjadi rapat sehingga deformasi akibat beban berkurang. Nilai pengaruh antara limbah keramik dengan *flow* adalah sebesar 97,34% yang ditunjukkan dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) diperoleh sebesar 0,9734. Sedangkan dari nilai koefisien korelasi ( $r$ ) diperoleh sebesar -0,9866 ( $-0,8 \leq r \leq -1$ ) menunjukkan bahwa kadar limbah keramik sangat kuat berpengaruh terhadap nilai *flow*



**Gambar 4.5** Hubungan *Flow* Dengan Persentase Limbah Keramik

### Marshall Quotient

Pada **Gambar 4.6** bisa dilihat bahwa dari 5 variasi persentase terlihat bahwa semua variasi memenuhi persyaratan untuk *Marshall Quotient* yaitu minimal 250 kg/mm. Hubungan antara limbah keramik dan nilai MQ sangat kuat pengaruhnya, hal ini terlihat dari nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar -0.9971 ( $-0,8 \leq r \leq -1$ ) dan nilai determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.9943. Perbandingan antara stabilitas dan *flow* merupakan nilai *marshall quotient*. Nilai MQ ini dapat mencerminkan tingkat kekakuan suatu campuran. Semakin tinggi nilai MQ maka makin tinggi kekakuan campuran. Namun MQ yang terlalu rendah dapat menyebabkan perkerasan tidak cukup kuat memikul beban



**Gambar 4.6** Hubungan MQ Dengan Persentase Limbah Keramik

### Penentuan Kadar Limbah Keramik Maksimal

Berdasarkan dari hasil pemeriksaan volumetrik dan *marshall* pada campuran dengan menggunakan limbah keramik (AK), maka diperoleh kadar limbah keramik (AK) yang bisa digunakan adalah maksimal 39,29% seperti pada **Gambar 4.7**

Parameter	Kadar Limbah Keramik				
	0%	25%	50%	75%	100%
VMA (%)	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
VIM (%)	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
VFB (%)	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Stabilitas (Kg)	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Flow (mm)	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
MQ (Kg/mm)	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

39.29%

Memenuhi  
Tidak Memenuhi

**Gambar 4.7** Kadar Limbah Keramik (AK) Maksimal

### Hasil Pengujian Marshall (*Immersion Test*)

Pengujian yang dilakukan hampir sama dengan pengujian *marshall* standar, akan tetapi yang membedakan terletak pada lama waktu perendaman yang dilakukan di dalam *water bath*. Pada pengujian *immersion test* waktu perendaman selama 24 jam dengan suhu 60°C. Data pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.3**. Setelah benda uji yang mengandung limbah keramik direndam selama 24 jam, maka diperoleh nilai Indeks Kekuatan Sisa yang didapat dari hasil perbandingan antara stabilitas *marshall* standar dengan *immersion Test*. Data IKS dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Perendaman mempengaruhi karakteristik campuran akibat perubahan suhu, cuaca, dan air, antara perendaman selama 0,5 jam dengan rendaman selama 24 jam. Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.9**, dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada rendaman 24 jam lebih rendah dibandingkan dengan rendaman 30 menit. Berdasarkan **Gambar 4.8**, perhitungan Indeks Kekuatan Sisa untuk mengetahui kekuatan dan kekakuan yang dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman, dapat dilihat bahwa nilai IKS meningkat dengan penambahan kadar limbah keramik 25%. Pada variasi campuran dengan kadar limbah keramik 50%, 75%, dan 100% Indeks Kekuatan Sisa menurun. Hal ini disebabkan pada proses perendaman, air masuk ke dalam pori-pori campuran sehingga mengurangi ikatan adhesi antara aspal dan agregat. Campuran beton aspal dengan kadar limbah keramik 50%, 75%, dan 100% tidak memenuhi persyaratan untuk stabilitas Marshall sisa setelah perendaman 24 jam dalam suhu 60°C yaitu minimal 90%.

**Tabel 4.5** Hasil Pengujian *Immersion Test* Kombinasi Campuran Agregat Halus

No	Karakteristik Campuran	Kadar Limbah Keramik dengan <i>filler</i> Limbah keramik 5% (*)					Syarat (**)
		0%	25%	50%	75%	100%	
1	VMA (%)	15.05	14.57	16.58	17.77	20.30	Min. 14%
2	VIM (%)	3.02	3.46	6.64	8.81	12.40	3%-5%
3	VFB (%)	79.92	76.28	60.03	50.42	38.92	Min. 65%
4	Stabilitas (Kg)	1941.15	2172.54	1737.84	1474.06	1253.24	Min. 800 Kg
5	Flow (mm)	4.69	4.08	3.62	3.08	2.85	2-4 mm
6	MQ (Kg/mm)	431.39	533.37	519.13	484.01	420.85	Min. 250 Kg/mm

(\*)Sumber: Hasil Perhitungan (2023)

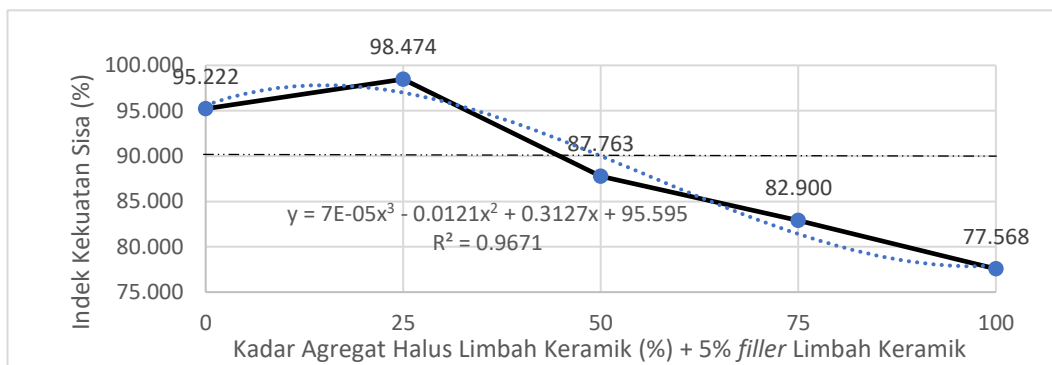
(\*\*)Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2

**Tabel 4.8** Hasil Perhitungan Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

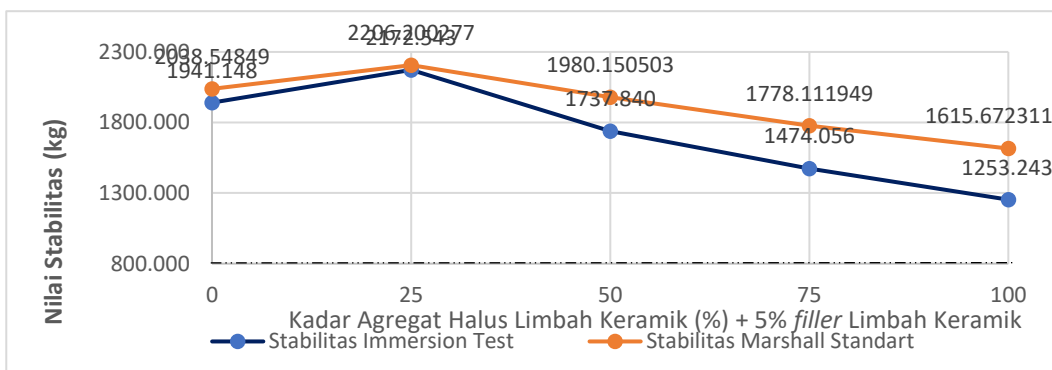
Persentase Agregat Halus (%)	Persentase Filler (%)	KAO (%)	Stabilitas Marshall Standar (Kg)	Stabilitas Immersion Test (Kg)	Nilai IKS	IKS
100 AA / 0 AK	95 AB / 5 FK	6.0	2038.548	1941.148	0.952	95.22%
75 AA / 25 AK	95 AB / 5 FK	6.0	2206.200	2172.543	0.985	98.47%
50 AA / 50 AK	95 AB / 5 FK	6.0	1980.151	1737.840	0.878	87.76%
25 AA / 75 AK	95 AB / 5 FK	6.0	1778.112	1474.056	0.829	82.90%
0 AA / 100 AK	95 AB / 5 FK	6.0	1615.672	1253.243	0.776	77.57%

**Spesifikasi** **Min. 90%**

Sumber: Hasil Perhitungan (2023)



**Gambar 4.8** Hubungan Antara IKS Dengan Kadar Limbah Keramik



**Gambar 4.9** Hubungan Variasi Kadar Limbah Keramik dengan Nilai Stabilitas Pada Pengujian Marshall Standar dan Immersion Test



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Campuran AC-BC yang ditambahkan limbah keramik (AK) menghasilkan nilai VMA dan VIM yang semakin meningkat seiring bertambahnya kadar limbah keramik (AK). Sedangkan nilai VFB, stabilitas, flow, dan MQ mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar limbah keramik (AK). Campuran dengan kadar limbah keramik (AK) hingga 39,29% memenuhi persyaratan Bina Marga Revisi 2. Namun, penambahan limbah keramik (AK) diatas 39,29% akan mengakibatkan aspal dalam campuran banyak terserap oleh limbah keramik (AK), sehingga daya ikat antara agregat akan berkurang, menjadi rapuh, dan kekuatannya menurun.

2. Dari hasil pengujian marshall dapat diambil untuk nilai maksimal penggunaan limbah keramik (AK) yaitu sebesar 39,29% dilihat dari parameter marshall yang seluruhnya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Dari lima variasi agregat halus, yang menghasilkan nilai indeks kekuatan sisa (IKS) tertinggi adalah pada variasi campuran 25% AK : 75% AA dengan nilai sebesar 98,48%.

### Saran

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan kadar aspal diatas 6% untuk mengatasi penyerapan aspal yang tinggi pada limbah keramik

2. Disarankan untuk mencari alternatif lain sebagai bahan pengganti agregat halus alam maupun filler abu batu yang memiliki tingkat penyerapan dibawah 3%.

### Daftar Pustaka

Angka, A. B., & Syahlendra, S. (2019, December). PEMANFAATAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI PENGGANTI ABU BATU PADA LAPIS ASPAL BETON. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (Vol. 4, No. 1, pp. 141-147).

Arliningtyas, S., & Nadia, N. (2016). Analisa Kelayakan Limbah Keramik sebagai Pengganti Agregat Halus untuk Campuran Aspal Beton Ditinjau dari Nilai Stabilitas Marshall. *Konstruksia*, 8(1), 47-59.

Awoyera, P. O., Olalusi, O. B., & Ibia, S. (2021). Water absorption, strength and microscale properties of interlocking concrete blocks

made with plastic fibre and ceramic aggregates. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00677. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00677>.

BPS.go.id. Panjang Jalan Menurut Provinsi dan Tingkat Kewenangan Pemerintahan (km), (2022). Diakses pada 2 November 2023, dari [https://www.bps.go.id/indikator/indikator/view\\_data\\_pub/0000/api\\_pub/SENxVDdSbVprRGF2Sk91UTdGcVdTdz09/da\\_10/1](https://www.bps.go.id/indikator/indikator/view_data_pub/0000/api_pub/SENxVDdSbVprRGF2Sk91UTdGcVdTdz09/da_10/1)

Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid 1, Erlangga, Jakarta.

Direktorat Jendral Bina Marga. (2018). *Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2)*. Kementerian PUPR.

Dubale, M., Goel, G., Kalamdhad, A., & Singh, L. B. (2022). An investigation of demolished floor and wall ceramic tile waste utilization in fired brick production. *Environmental Technology & Innovation*, 25, 102228. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102228>

Fasdarsyah, F., & Mukhlis, M. (2016). PENGARUH PENAMBAHAN FILLER GRANIT DAN KERAMIK PADA CAMPURAN LASTON AC-WC TERHADAP KARAKTERISTIK UJI MARSHALL. *TERAS JURNAL: Jurnal Teknik Sipil*, 4(1).

Irawan, B. (2010, January). Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Suhu Sintering Terhadap Kekerasan Keramik Lumpur Lapindo. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL & INTERNASIONAL* (Vol. 3, No. 1).

Johnson, S. P., (1993), *The Earth Summit: the UN Conference on Environment & Development: UNCED*, Graham & Trotman, London.

Nurzal, N. (2013). PENGARUH KOMPOSISI FLY ASH DAN SUHU SINTER TERHADAP KEKERASAN PADA MANUFACTURE KERAMIK LANTAI. *Jurnal Teknik Mesin ISSN 2089-4880*, 3(1).

Purnawan, S., & Karina, S. (2014). Karakteristik dan kandungan mineral pasir pantai Lhok Mee, Beureunut dan Leungah, Kabupaten Aceh Besar. *Depik*, 3(3).

Putra, K. H., & Wahdana, J. (2019). Studi Eksperimental Penambahan Limbah Keramik Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Laston (Ac-Wc) Terhadap Karakteristik Uji Marshall. *PADURAKSA:*

*Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 8(2), 147-155.

- Ray, S., Haque, M., Sakib, M. N., Mita, A. F., Rahman, M. M., & Tanmoy, B. B. (2021). Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review. *Journal of Building Engineering*, 43, 102567. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102567>.
- Sihite, D. R. (2008). *Pembuatan dan karakterisasi bahan keramik berpori dengan aditif sekam padi yang digunakan sebagai filter gas buang* (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*. Institut Teknologi Nasional.