

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH PENCAMPURAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI
AGREGAT HALUS DAN *FILLER* PADA CAMPURAN ASPAL**

*“Effect Of Mixing Ceramic Waste As Fine Aggregate And Filler On Asphalt
Mixture”*

Untuk memenuhi sebagai persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S – 1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

ZAINUL MUTTAQIN

F1A019196

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM**

2023

Artikel Ilmiah

**PENGARUH PENCAMPURAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI
AGREGAT HALUS DAN *FILLER* PADA CAMPURAN ASPAL**

Oleh :

**Zainul Muttaqin
(F1A 019 196)**

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing:

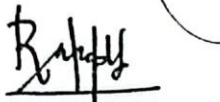
1. Pembimbing Utama



Desi Widianty, ST., MT.
NIP. 19710101 199802 2 001

Tanggal : 15 November 2023

2. Pembimbing Pendamping



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

Tanggal : 15 November 2023

Mengetahui,
Sekretaris Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Hafiyadi, ST., Msc.(Eng), Dr.Eng.
NIP. 19731027 199802 1 001

Artikel Ilmiah

**PENGARUH PENCAMPURAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI
AGREGAT HALUS DAN *FILLER* PADA CAMPURAN ASPAL**


Oleh :

**Zainul Muttaqin
F1A019196**

Telah dipertahankan di depan Dewan 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. L. I Dewa Made Alit Karyawan, MT.
NIP. 19660718 199702 1 001

Tanggal : 15 November 2023

2. Penguji II


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

Tanggal : 15 November 2023

3. Penguji III


Hasyim, ST., MT
NIP. 19660626 199412 1 001

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 PENCAMPURAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI AGREGAT HALUS DAN *FILLER* PADA CAMPURAN ASPAL

Zainul Muttaqin¹, Desi Widiyanty², Ratna Yuniarti²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram

²Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram

ABSTRAK

Ketersediaan material campuran seperti agregat alam akan berkurang dan semakin terbatas jika digunakan terus menerus, karena tidak dapat diperbarui. Oleh karena itu perlu mencari material lain yang dapat digunakan untuk mengganti bahan yang biasa digunakan sehingga bisa mengurangi penggunaan agregat alam. Salah satu bahan pengganti yang bisa digunakan yaitu limbah keramik karena sudah mengalami proses pembakaran dalam suhu tinggi, dan memiliki kekerasan yang baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah keramik pada *filler* dan agregat halus terhadap nilai volumetrik dan mekanis campuran aspal dengan *marshall standard* dan *immersion test*. Pada proses pengujian dimulai dari pemeriksaan agregat dan aspal. Kemudian dengan menambah agregat yang disyaratkan untuk membuat benda uji campuran AC-BC. Benda uji dibuat sebanyak 3 sampel untuk setiap variasi kadar aspal. Melalui pengujian dengan kadar aspal 5%-7%, kemudian diperoleh nilai KAO sebesar 6%. Pembuatan benda uji yaitu dengan variasi persentase agregat halus limbah keramik. Pengujian marshall dilakukan pada seluruh benda uji, dan dilakukan analisis terhadap data yang diperoleh. Dari hasil pengujian didapatkan nilai volumetrik, mekanis, dan IKS. Pada setiap parameter yang tercantum dalam persyaratan campuran digambarkan batas spesifikasinya pada grafik dan ditentukan rentang variasi persentase limbah keramik yang memenuhi persyaratan.

Hasil pengujian menunjukkan semakin banyak penambahan limbah keramik mengakibatkan nilai VIM dan VMA naik, namun nilai VFB mengalami penurunan. Nilai Karakteristik mekanis (Stabilitas, flow, dan Marshall Quotient) pada semua variasi penambahan limbah keramik mengalami penurunan seiring penambahan limbah keramik. Limbah Keramik dapat digunakan sebagai agregat halus dan *filler* dalam pembuatan lapis perkerasan AC-BC dengan variasi kadar 27% limbah keramik.

Kata kunci: AC-BC, Limbah keramik, Metode Marshall, *filler*, agregat halus

I. Pendahuluan

Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) merupakan lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan aus (*wearing course*) dan di atas lapisan pondasi (*base course*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawahnya yaitu *base* dan *sub grade* (tanah dasar). AC-BC juga membutuhkan stabilitas yang tinggi karena lapisan tersebut digunakan untuk lalu lintas yang berat. Oleh karena itu, dilakukan upaya untuk mencegah terjadinya kerusakan pada lapisan tersebut dengan membuat campuran yang bisa menanggulangi kerusakan yang terjadi.

Ketersediaan material campuran seperti agregat alam akan berkurang dan semakin terbatas jika digunakan terus menerus, karena tidak dapat diperbarui. Oleh karena itu perlu mencari material lain yang dapat digunakan untuk mengganti bahan yang biasa digunakan sehingga bisa mengurangi penggunaan agregat alam. Salah satu bahan pengganti yang bisa digunakan yaitu limbah keramik, keramik terbuat dari tanah liat atau lempung yang mengalami proses pengerasan dengan pembakaran pada temperatur tinggi. Penggunaan limbah keramik sebagai bahan campuran aspal dimaksudkan untuk memberikan nilai tambah terhadap limbah tersebut. Limbah keramik merupakan bahan hasil dari sisa pemasangan keramik pada suatu bangunan. Melihat potensi dari limbah keramik yang belum diolah dari hasil sisa pemasangan konstruksi, oleh karena itu peneliti mencoba untuk memanfaatkan ketersediaan limbah tersebut untuk dijadikan sebagai bahan tambah

agregat. Selain itu (Liana, dkk. 2022) dilakukan pengujian *Marshall* standar dan *Immersion Test* pada variasi agregat halus dan *filler* dengan kadar yaitu 0% keramik, 25% keramik, 50% keramik, 75% keramik dan 100% keramik dengan menggunakan kadar aspal optimum. Dari hasil penelitian keramik dapat digunakan sebagai agregat halus dan *filler* dalam pembuatan lapis perkerasan HRS dengan variasi kadar 25% keramik. Hal ini mendorong penulis untuk melakukan penelitian dengan judul “**Pengaruh Pencampuran Limbah Keramik Sebagai Agregat Halus Dan Filler Pada Campuran Aspal**” yang diharapkan penambahan limbah keramik dapat membantu meningkatkan kinerja campuran aspal beton. Penggunaan limbah keramik sebagai campuran aspal dimaksudkan untuk memberikan nilai tambah terhadap limbah keramik tersebut, dalam upaya memanfaatkan sumber daya yang ada khususnya limbah keramik untuk keperluan konstruksi jalan raya

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui pengaruh penambahan limbah keramik pada *filler* dan agregat halus terhadap nilai *Volumetrik marshall* campuran aspal beton.
2. Mengetahui pengaruh penambahan limbah keramik pada *filler* dan agregat halus terhadap nilai stabilitas, *flow*, dan *marshall quotient* campuran aspal beton.
3. Mendapatkan persentase yang memenuhi persyaratan limbah keramik pada *filler* dan agregat halus terhadap campuran aspal beton.

II Landasan Teori

Sukirman (2016) lapis Aspal beton adalah beton aspal dengan gradasi menerus, lapis aspal beton (*laston*) juga sering disebut AC (*asphalt*

concrete). Karakteristik utama beton aspal pada campuran ini adalah stabilitas. Tebal minimum laston berkisar antara 4 - 6 cm, dan untuk lapisan aus atau yang dikenal dengan AC-WC (*asphalt concrete - wearing course*) memiliki tebal nominal minimum yaitu 4 cm.

Liana dkk. (2022) dilakukan pengujian *Marshall* standar dan *Immersion Test* pada variasi agregat halus dan *filler* dengan kadar yaitu 0% keramik, 25% keramik, 50% keramik, 75% keramik dan 100% keramik dengan menggunakan kadar aspal optimum. Dari hasil penelitian didapat bahwa semakin banyak penambahan keramik akan menurunkan nilai stabilitas, *Marshall Quotient*, VIM dan VMA dan menaikkan nilai *flow*, density, dan VFB. Keramik dapat digunakan sebagai agregat halus dan *filler* dalam pembuatan lapis perkerasan HRS dengan variasi kadar 25% keramik.

Penelitian yang dilakukan oleh Hamka dkk (2017) setelah melakukan penelitian penambahan limbah keramik sebagai *filler* pada lapisan perkerasan AC-WC menyimpulkan bahwa pada proporsi campuran 0% keramik + 100% semen diperoleh VIM, VMA, VFB, MQ, stabilitas, dan *flow* memenuhi spesifikasi. Pada proporsi campuran 50% keramik + 50% semen VMA, MQ, stabilitas, *flow*, VFB memenuhi spesifikasi dan nilai VIM tidak ada yang memenuhi. Pada proporsi campuran 100% keramik + 0% semen diperoleh VMA, stabilitas, MQ, VFB, dan *flow* memenuhi spesifikasi, untuk nilai VIM tidak ada yang memenuhi.

Andi dkk. (2019) pada penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan Karakteristik pada campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) dengan variasi limbah keramik lantai sebagai bahan pengganti abu batu menghasilkan nilai VIM semakin meningkat seiring penambahan kadar keramik pada campuran. Namun turun pada nilai VMA dan VFB. Dari hasil pengujian Marshall dapat diambil untuk nilai penggunaan kadar limbah keramik lantai yang diizinkan adalah 0% hingga 58% dilihat dari parameter marshall yang hampir seluruhnya memenuhi spesifikasi.

Arliningtyas (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 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.

Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Pada temperatur ruang aspal berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jika aspal dipanaskan sampai temperatur tertentu aspal akan mencair dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyak aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4% - 10% berdasarkan berat campuran, atau 10% - 15% berdasarkan volume campuran.

1. Jenis aspal

Berdasarkan jenisnya aspal dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Aspal hasil destilasi

Minyak mentah disuling melalui proses destilasi, yaitu suatu proses dimana terjadi pemisahan sebagai fraksi dari minyak mentah tersebut.

Jenis aspal yang merupakan hasil destilasi adalah:

1) Aspal Keras

Aspal keras atau aspal panas adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas.

Contohnya adalah aspal semen (*asphalt cement*). Aspal semen pada temperatur ruang (25° C - 30° C) berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25°C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya.

2) Aspal cair

Aspal cair (*cutback asphalt*) merupakan campuran antara aspal semen dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Dengan demikian aspal cair didapat dengan cara melarutkan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak.

3) Aspal Emulsi

Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi memiliki bentuk yang lebih cair daripada aspal cair.

4) Aspal alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad. Aspal alam terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau (*Trinidad Lake Asphalt*). Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang berupa aspal gunung, terkenal dengan nama asbuton (*Aspal Batu Buton*).

5) Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi dibuat dengan mencampurkan aspal keras dengan suatu bahan tambah lain. Salah satu jenis bahan tambah yang dapat digunakan saat ini adalah limbah. Pemanfaatan limbah pada campuran perkerasan jalan dapat menjadi solusi alternatif dalam menanggulangi besarnya jumlah limbah yang ada.

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai:

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antar sesama aspal.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Penggunaan aspal pada perkerasan jalan dapat melalui pencampuran pada agregat sebelum dihamparkan (*prahampar*), seperti lapisan beton aspal atau disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan dan ditutupi oleh agregat-agregat yang lebih halus (*pascahampar*), seperti perkerasan penetrasi macadam atau pelaburan. Fungsi utama aspal untuk kedua jenis proses pembentukan perkerasan yaitu proses pencampuran prahampar dan pasca hampar itu berbeda. Pada proses prahampar aspal yang dicampurkan dengan agregat akan membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antar butir, dan meresap ke dalam pori masing-masing butir.

Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat sebagai komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90%-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75%-85% perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran.

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu:

1. Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh:
 - a. Gradasi.
 - b. Gradasi dan ukuran maksimum.
 - c. Kadar lempung.
 - d. Kekerasan dan ketahanan (*toughness atau durability*).
 - e. Bentuk butir.
 - f. Tekstur permukaan.
2. Kemampuan dilapisi aspal, dipengaruhi
 - a. Porositas.
 - b. Kemungkinan basah.
 - c. Jenis agregat.
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman dipengaruhi oleh:
 - a. Tahanan geser (*skid resistance*).

- b. Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan

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.

Tujuan awal *filler* adalah mengisi rongga dalam campuran (VIM), tidak hanya oleh bitumen tetapi material yang lebih halus. Pada kadar aspal konstan, penambahan *filler* akan memperkecil VIM. Dalam perkembangan selanjutnya, terbukti bahwa *filler* tidak hanya mengganti fungsi bitumen mengisi rongga, tetapi juga memperkuat campuran. Untuk suatu kadar aspal yang konstan jumlah *filler* yang sedikit akan menyebabkan rendahnya koefisien marshall karena viskositas bitumen masih rendah dengan *filler* yang sedikit tersebut. Selanjutnya koefisien *marshall* meningkat dengan penambahan *filler* sampai nilai maksimum, kemudian menurun akibat kemampuan pemadatan campuran (tanpa menimbulkan retak). *Filler* juga berpengaruh terhadap nilai kadar aspal optimum melalui luas permukaan dari partikel mineralnya. Penggunaan jenis dan proporsi *filler* juga mempengaruhi kualitas dari campuran beraspal. Penggunaan *filler* yang terlalu banyak cenderung menghasilkan campuran yang mudah getas dan mudah retak

Aspal Beton

Secara umum lapis aspal beton (*laston*) dapat didefinisikan sebagai suatu lapisan pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal sebagai pengikat yang kemudian dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Karena dicampur dalam keadaan panas maka sering kali disebut dengan istilah "*hotmix*". Pekerjaan pencampuran dilakukan di pabrik pencampur, kemudian dibawa ke lokasi dan dihampar dengan menggunakan alat penghampar (*paving machine*) sehingga diperoleh lapisan lepas yang seragam dan merata untuk selanjutnya dipadatkan dengan mesin pemadat dan akhirnya diperoleh lapisan padat aspal beton

Jenis aspal beton dibedakan berdasarkan suhu pencampuran material pembentuk aspal beton, dan fungsi aspal beton. Berdasarkan suhu pencampuran material pembentuk aspal beton dibedakan atas:

1. Aspal beton campuran panas (*hotmix*), yaitu aspal beton yang bahannya pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 140°C.
2. Aspal beton campuran hangat (*warm mix*), yaitu aspal beton yang bahannya pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 60°C.
3. Aspal beton campuran dingin (*cold mix*), yaitu aspal beton yang bahannya pembentuknya dicampur pada suhu ruangan sekitar 25°C.

Berdasarkan fungsi aspal beton dibedakan atas:

1. Aspal beton untuk lapisan aus (*wearing course*), yaitu lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan, kedap air, tahan cuaca, serta memiliki kekesatan yang disyaratkan sehingga tidak terjadi slip.
2. Aspal beton untuk lapis pengikat atau lapis perantara (*binder course*), yaitu lapisan perkerasan yang berada di bawah lapisan aus. Tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang terdistribusi melalui roda kendaraan.

3. Aspal beton untuk lapisan pondasi, yaitu lapisan perkerasan yang memiliki fungsi sebagai lapis pondasi (*base course*).
4. Aspal beton untuk pembentuk dan perata lapisan beton aspal yang sudah lama, biasanya sudah aus.

Karakteristik Campuran Aspal Beton

Campuran aspal diharapkan memiliki sifat kuat, lentur, awet dan aman. Secara umum karakteristik campuran aspal yang harus dimiliki campuran adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapisan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk (deformasi) seperti gelombang, alur atau bleeding. Jalan dengan pelayanan volume lalu lintas tinggi dan kendaraan berat, membutuhkan pekerjaan jalan dengan stabilitas yang tinggi. Stabilitas dapat diperoleh dari hasil geser antar butir, penguncian antar partikel, dan daya ikat yang baik antara aspal dan agregat.

2. Durabilitas (keawetan/daya tahan)

Durabilitas adalah kemampuan campuran aspal dalam melayani lalu lintas dan menerima beban untuk jangka panjang (sesuai umur rencana) tanpa terjadi kerusakan. Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.

3. Fleksibilitas (kelenturan)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk dapat memperoleh tingkat fleksibilitas yang tinggi diperlukan beberapa cara yaitu sebagai berikut:

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
 - b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi tinggi).
 - c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.
- #### 4. Kekesatan tahanan geser (*skid resistance*)

Tahanan geser adalah kesesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan atau

basah maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan ban kendaraan.

5. Ketahanan kelelahan (*atique resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban bertulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*ruting*) dan retak. Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah:

- a. VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat
- b. VMA yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

6. Kemudahan pelaksanaan (*workability*)

Kemudahan pelaksanaan merupakan mudahnya suatu campuran untuk dihamparkan dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Tingkat *workability*/ menentukan tingkat efisiensi pekerjaan

Sifat Volumetrik Campuran Aspal

Sifat-sifat volumetrik campuran aspal merupakan karakteristik fisik campuran yang digunakan untuk evaluasi awal rancangan campuran aspal (dalam bentuk benda uji) di laboratorium. Sifat *volumetrik* campuran aspal meliputi berat jenis, rongga udara dan tebal lapisan aspal

1. Berat jenis (*specific gravity*)

$$Gsb = \frac{P1+P2+\dots+Pn}{\frac{P1}{Gsb1} + \frac{P2}{Gsb2} + \dots + \frac{Pn}{Gsbn}}$$

- a. Berat jenis efektif dari total campuran agregat

$$Gse = \frac{P1+P2+\dots+Pn}{\frac{P1}{Gse1} + \frac{P2}{Gse2} + \dots + \frac{Pn}{Gsen}}$$

- b. Berat jenis maksimum campuran aspal

$$Gmm = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}}$$

- c. Berat jenis bulk (Gmb)

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd - Ba}$$

2. Rongga udara (air void)

- a. Rongga pori di 3 antara mineral agregat (VMA)

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

- b. Rongga pori dalam campuran beraspal (VIM)

$$VIM = 100 \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right)$$

- c. Rongga pori yang terisi aspal (VFB)

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

1. Pengujian *marshall*

Kinerja campuran aspal beton dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksaan *marshall*. Parameter yang digunakan dalam pengujian *marshall* adalah sebagai berikut:

- a. Stabilitas *marshall*

Stabilitas merupakan parameter yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram.

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

- 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*. Suatu campuran yang memiliki kelelahan yang rendah akan lebih kaku dan kecenderungan akan kerusakan lebih dini pada usia pelayanannya.

- c. *Marshall quotient*

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{flow}}$$

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

Pengujian ini dilakukan untuk melihat ketahanan campuran terhadap pengaruh kerusakan oleh air. Air pada campuran beraspal dapat mengakibatkan berkurangnya daya lekat aspal terhadap agregat sehingga dapat melemahkan ikatan antar agregat. Pada

prinsipnya pengujian ini sama dengan pengujian *marshall* standar, hanya waktu perendaman di dalam *waterbath* yang berbeda.

$$IKS = \frac{\text{Stabilitas } \textit{marshall immersion}}{\textit{stabilitas } \textit{marshall}} \times 100$$

III Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

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

Tahapan Penelitian

1. Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan sebelum digunakan pada campuran perkerasan, pengujian ini meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus, dan *filler*, dan aspal

2. Penentuan Persiapan Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal rencana (*Pb*) adalah kadar aspal yang menjadi acuan untuk membuat benda uji *Marshall* agar diperoleh kadar aspal optimum, diharapkan kadar aspal rencana ini berada di sekitar kadar aspal optimum. Menghitung kadar aspal rencana (*Pb*) dengan menggunakan rumus persamaan berikut ini:

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

3. Pembuatan Benda Uji (*Briket*)

Adapun pembuatan benda uji atau *briket* campuran beton aspal berdasarkan proporsi agregat variasi kadar aspal yang telah ditentukan (SNI 06-2489-1991).

4. Pengujian benda uji

Pengujian yang dilakukan antara lain Pemeriksaan Sifat Volumetrik, Pengujian *Marshall* Standar, Penentuan Kadar Aspal Optimum

5. Pembuatan Benda Uji dengan KAO

Langkah-langkah pembuatan benda uji (*Briket*) dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) juga dibuat sebanyak 3 buah benda uji (*Briket*) untuk masing-masing variasi persentase agregat halus dan *filler*, yaitu antara agregat halus limbah keramik (AHLK), agregat halus alam

(AHA), dan abu batu (AB). Pembuatan benda uji antara agregat halus dan *filler* menggunakan variasi persentase sama yaitu 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, 100%:0%.

6. Pengujian benda uji

Pengujian yang dilakukan antara lain Pemeriksaan Sifat Volumetrik, Pengujian Marshall Standar, Pengambilan kesimpulan

IV Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian Aspal

Tabel 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	Daktilitas pada 25°C (cm)	≥100	136
5	Berat jenis	≥1,0	1.033
6	Kehilangan berat (%)	≤0,8	0.214

Hasil Pengujian Agregat

Tabel 2 Hasil Pengujian agregat Pemilihan Gradasi Campuran

No	Ukuran ayakan (mm)	AC-BC (*)	Nilai tengah	Persentase lolos (%)	Persentase tertahan (%)
1 1/2"	37.5	-	-	-	-
1"	25	100	100	100	0
3/4"	19	90 - 100	95.0	95.0	5
1/2"	12.5	75 - 90	82.5	82.5	12.5
3/8"	9.5	66 - 82	74.0	74.0	8.5
No. 4	4.75	46 - 64	55.0	55.0	19
No. 8	2.36	30 - 49	39.5	39.5	15.5
No. 16	1.18	18 - 38	28.0	28.0	11.5
No. 30	0.6	12 - 28	20.0	20.0	8
No. 50	0.3	7 - 20	13.5	13.5	6.5
No. 100	0.15	5 - 13	9.0	9.0	4.5
No. 200	0.075	4 - 8	6.0	6.0	3
Filler					6
Total					100

Menentukan Kadar Aspal Optimum

Dari variasi kadar aspal yang sudah didapatkan, dibuat benda uji sebanyak 3 buah untuk masing-masing variasi kadar aspal sehingga berjumlah 15 buah benda uji. Masing-masing benda uji dibuat dan diuji sesuai dengan prosedur yang sudah ditetapkan dalam SNI 06-2489-1991. Pengujian yang dilakukan pada benda uji adalah pemeriksaan sifat volumetrik yaitu nilai VIM, VMA, VFB dan sifat mekanik yaitu Stabilitas, Flow, Marshall quotient.

Tabel 4 Rekapitulasi hasil perhitungan volumetrik dan mekanis

Parameter	Syarat	Kadar aspal				
		5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
VMA (%)	≥ 14%	13.955	14.748	15.103	16.122	16.128
VIM (%)	3 - 5%	4.279	3.940	3.110	3.045	1.812
VFB (%)	≥ 65%	70.007	73.393	79.414	81.117	88.813
Stabilitas (Kg)	≥ 800 Kg	2977.278	2889.025	2403.981	2058.909	1988.460
Flow (mm)	2 - 4 mm	2.905	2.853	2.947	3.730	4.937
MQ (Kg/mm)	≥ 250 Kg/mm	1029.857	1029.726	822.709	552.557	402.848

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa benda uji dengan kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi yaitu 5.5%, 6.0%, dan 6.5%. maka kemudian ditentukan kadar aspal optimum yaitu sebesar 6%.

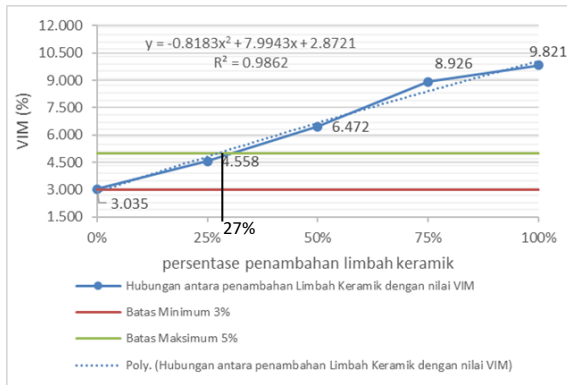
Hasil Pengujian Benda Uji dengan Variasi Penambahan Campuran Limbah Keramik

Pengujian campuran ini terdiri dari pemeriksaan nilai volumetrik yaitu VIM, VMA, dan VFB serta pemeriksaan mekanis yaitu stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Kadar aspal yang digunakan yaitu kadar aspal optimum yang sudah didapatkan dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 6,0%. Kemudian dengan kombinasi agregat halus antara agregat alam dengan limbah keramik dengan persentase adalah 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, 100%:0% dan menggunakan persentase *filler* yang sama seperti agregat halus yaitu 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, 100%:0%. kemudian dibuat benda uji sebanyak 3 buah benda uji untuk masing-masing variasi.

Rongga Didalam Campuran Beraspal atau Void in The Mix (VIM)

Tabel 5 Hasil Perhitungan VIM dengan Variasi Penambahan Limbah Keramik

Kadar Limbah Keramik	VIM (%)*
0%	3.035
25%	4.558
50%	6.472
75%	8.926
100%	9.821
Spesifikasi**	3 - 5%



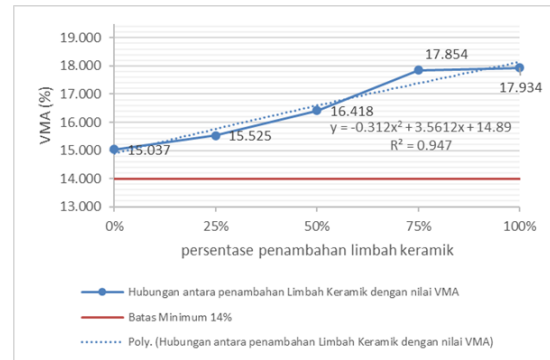
Gambar 1 Grafik Hubungan Nilai VIM Dengan Persentase Limbah Keramik

Semakin besar dan banyak bertambah limbah keramik maka nilai VIM akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena limbah keramik mengandung banyak pori, sehingga seiring bertambahnya penggunaan limbah keramik maka rongga-rongga udara dalam campuran semakin besar. Jika dilihat dari *Trend* diatas, angka determinasi (R^2) yang didapat sebesar 0,9862, menunjukkan bahwa pengaruh kadar aspal dengan nilai VIM yaitu 98,62%. Kemudian untuk angka korelasi (R) sebesar 0,9962 ($0,9 < R < 1$) yang menunjukkan bahwa hubungan atau korelasi antara nilai VIM dengan persentase limbah keramik sangat kuat. Nilai VIM yang memenuhi syarat yaitu maksimal 27% limbah keramik.

Rongga Diantara Agregat atau *Void in Mineral Agregat* (VMA)

Tabel 6 Hasil Perhitungan VMA dengan Variasi Penambahan Limbah Keramik

Kadar Limbah Keramik	VMA (%)*
0%	15.037
25%	15.525
50%	16.418
75%	17.854
100%	16.963
Spesifikasi**	≥ 14%



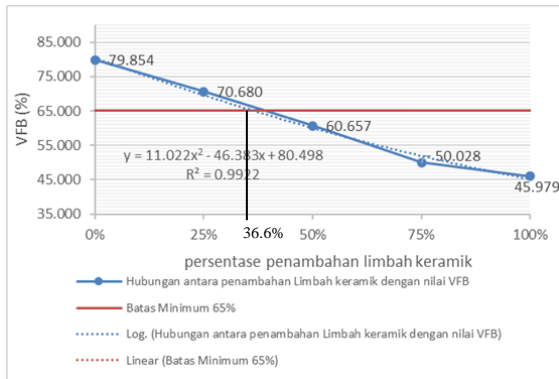
Gambar 2 Grafik Hubungan Nilai VMA Dengan Persentase Limbah Keramik

Semakin besar dan banyak penambahan limbah keramik maka nilai VMA akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena limbah keramik menjadi pengikat atau mengisi rongga-rongga antar agregat sehingga kecilnya jarak antar agregat menyebabkan kenaikan nilai VMA. Jika dilihat dari *Trend* diatas, angka determinasi (R^2) yang didapat sebesar 0,947 yang menunjukkan bahwa pengaruh kadar aspal dengan nilai VMA yaitu 94,70%. Sedangkan untuk angka korelasi (R) sebesar 0,9731 ($0,9 < R < 1$) yang menunjukkan bahwa hubungan atau korelasi antara nilai VMA dengan persentase limbah keramik sangat kuat.

Rongga Terisi Aspal atau *Volume of Void Filled With Bitumen* (VFB)

Tabel 7 Hasil Perhitungan VFB dengan Variasi Penambahan Limbah Keramik

Kadar Limbah Keramik	VFB (%)*
0%	79.854
25%	70.680
50%	60.657
75%	50.028
100%	49.044
Spesifikasi**	Min 65 %



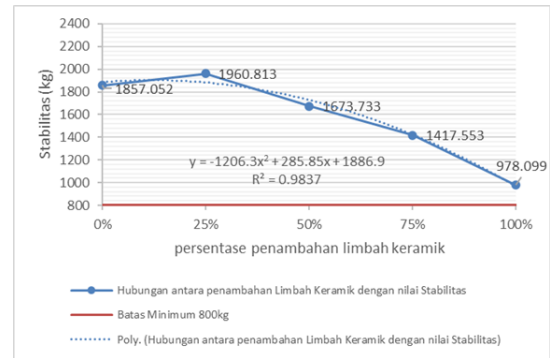
Gambar 3 Grafik Hubungan Nilai VFB Dengan Persentase Limbah Keramik

Semakin besar dan banyak bertambah limbah keramik maka nilai VFB maka akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena limbah keramik banyak menyerap aspal dan agregat sehingga dengan banyaknya agregat dan aspal yang terserap akan membuat nilai VFB menurun. Jika dilihat dari *Trend* diatas, angka determinasi (R^2) yang didapat sebesar 0,9922 yang menunjukkan bahwa kadar aspal berpengaruh terhadap nilai VFB sebesar 99,22%. Kemudian untuk angka berkorelasi (-) sebesar 0,9960 ($0,9 < R < 1$) yang menunjukkan bahwa hubungan atau korelasi antara nilai VFB dengan persentase limbah keramik sangat kuat. Nilai VFB yang memenuhi syarat maksimal yaitu sebesar 36.6% limbah keramik.

Stabilitas Marshall

Tabel 8 Hasil Perhitungan Stabilitas dengan Variasi Penambahan Limbah Keramik

Kadar Limbah Keramik	Stabilitas (Kg)*
0%	1857.052
25%	1960.813
50%	1673.733
75%	1417.553
100%	978.099
Spesifikasi**	Min. 800 Kg



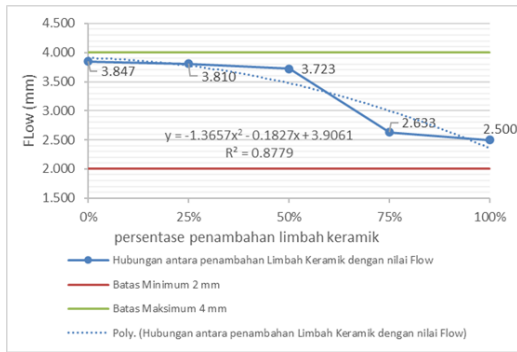
Gambar 4 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas dengan Persentase Limbah Keramik

Semakin besar persentase penambahan limbah keramik pada campuran aspal beton, maka nilai stabilitas akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan limbah keramik dapat membuat campuran menjadi semakin lentur dan mampu berdeformasi dengan baik apabila diberi beban. Karena jika nilai stabilitas semakin tinggi menandakan bahwa campuran semakin kaku/getas yang dapat menyebabkan terjadinya retak. Jika dilihat dari *Trend* diatas, angka determinasi (R^2) yang didapat sebesar 0,9837 yang menunjukkan bahwa kadar aspal berpengaruh terhadap nilai stabilitas sebesar 98,37%. Sedangkan untuk berkorelasi (-) sebesar 0,9918 ($0,9 < R < 1$) yang menunjukkan bahwa hubungan atau korelasi antara nilai stabilitas dengan persentase limbah keramik sangat kuat.

Kelelehan (flow)

Tabel 9 Hasil Perhitungan Flow dengan Variasi Penambahan Limbah Keramik

Kadar Limbah Keramik	Flow (mm)*
0%	3.847
25%	3.810
50%	3.723
75%	2.633
100%	4.275
Spesifikasi**	2-4 mm



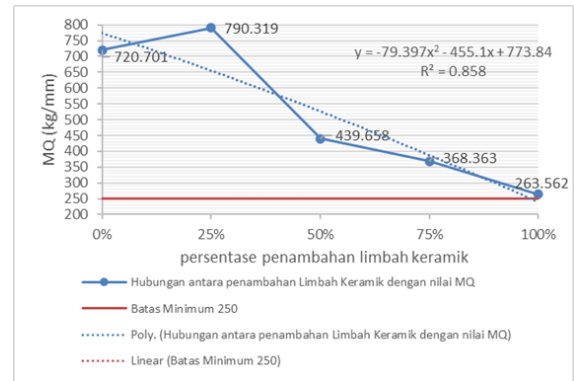
Gambar 5 Grafik Hubungan Nilai *Flow* dengan Persentase Limbah Keramik

Semakin besar persentase penambahan limbah keramik pada campuran aspal beton, maka nilai *flow* akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan limbah keramik dapat menyebabkan campuran menjadi plastis, namun jika nilai *flow* terlalu tinggi juga tidak baik karena dapat menyebabkan perkerasan menjadi sangat plastis dan muda mengalami perubahan bentuk akibat dari beban lalu lintas yang tinggi. Jika dilihat dari *Trend* diatas, angka determinasi (R^2) yang didapat sebesar 0,8779 yang menunjukkan bahwa kadar aspal berpengaruh terhadap nilai *flow* sebesar 87,79%. Sedangkan untuk angka berkorelasi (-) sebesar 0,9369 ($0,9 < R < 1$) yang menunjukkan bahwa hubungan atau korelasi antara nilai stabilitas dengan persentase limbah keramik kuat.

Marshall Quotient

Tabel 10 Hasil Perhitungan *MQ* dengan Variasi Penambahan Limbah Keramik

Kadar Limbah Keramik	MQ (Kg/mm)*
0%	482.818
25%	515.616
50%	451.337
75%	550.487
100%	411.502
Spesifikasi**	Min. 250 Kg/mm



Gambar 6 Grafik Hubungan Nilai *MQ* dengan Persentase Limbah Keramik

Semakin besar persentase penambahan Limbah Keramik pada campuran aspal beton, nilai *MQ* akan semakin kecil atau menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan limbah keramik dapat membuat campuran menjadi semakin lentur dan mampu berdeformasi dengan baik apabila diberi beban. Karena jika nilai *MQ* semakin tinggi menandakan bahwa campuran semakin kaku/getas yang dapat menyebabkan terjadinya retak. Jika dilihat dari *Trend* diatas, angka determinasi (R^2) yang didapat sebesar 0,8580 yang menunjukkan bahwa kadar aspal berpengaruh terhadap nilai *MQ* sebesar 85,80%. sedangkan untuk berkorelasi (-) sebesar 0,9262 ($0,9 < R < 1$) yang menunjukkan bahwa hubungan atau korelasi antara nilai stabilitas dengan persentase limbah keramik sangat kuat.

Dari hasil pengujian dan perhitungan parameter sifat volumetrik dan mekanis dari penambahan material Limbah Keramik kedalam campuran aspal diatas, dilakukan rekapitulasi hasil untuk mengetahui kadar penambahan material limbah keramik yang paling optimum.

Tabel 11 Rekapitulasi hasil perhitungan volumetrik dan mekanis campuran yang ditambahkan material Limbah Keramik

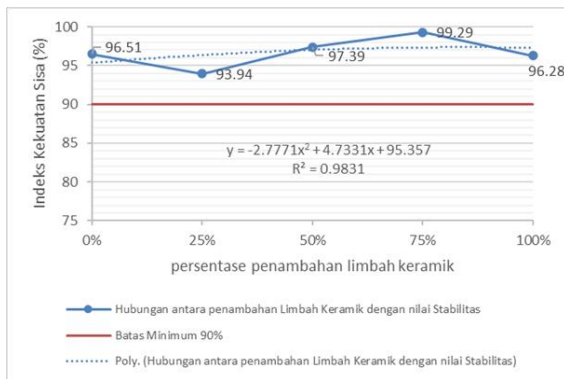
Parameter	Syarat	Kadar Limbah Keramik				
		0%	25%	50%	75%	100%
VMA (%)	≥ 14%	15.037	15.525	16.418	17.854	17.934
VIM (%)	3 - 5%	3.035	4.558	6.472	8.926	9.821
VFB (%)	≥ 65%	79.854	70.680	60.657	50.028	45.979
Stabilitas (Kg)	≥ 800 Kg	1857.052	1960.813	1673.733	1417.553	978.099
Flow (mm)	2 - 4 mm	3.847	3.810	3.723	2.633	2.500
MQ (Kg/mm)	≥ 250 Kg/mm	482.818	515.616	451.337	550.487	393.818

Dari hasil rekapitulasi diatas didapatkan untuk kadar penambahan Limbah Keramik paling maksimum terletak pada penambahan Limbah Keramik sebesar 25% limbah keramik.

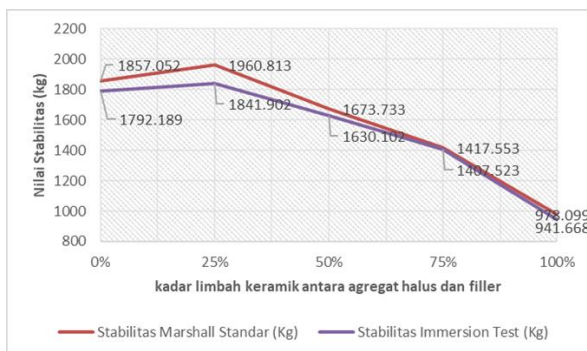
Hasil Pengujian Immersion Test

Tabel 12 Hasil Pengujian Immersion Test Campuran Kombinasi Limbah Keramik

Kode Variasi Agregat Halus	KA0 (%)	Stabilitas Marshall Standar	Stabilitas Immersion Test	Nilai IRS	IRS %
100%A/0%LK	6.0	1857.052	1792.189	0.9651	96.51%
75%A/25%LK	6.0	1960.813	1841.902	0.9394	93.94%
50%A/50%LK	6.0	1673.733	1630.102	0.9739	97.39%
25%A/75%LK	6.0	1417.553	1407.523	0.9929	99.29%
0%A/100%LK	6.0	978.099	941.668	0.9628	96.28%
Spesifikasi					Min. 90%



Gambar 7 Grafik Hubungan Nilai IKS dengan Persentase Limbah Keramik



Gambar 8 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas dengan Persentase Limbah Keramik

Perendaman mempengaruhi karakteristik campuran akibat perubahan suhu, dengan perendaman selama 30 menit dan rendaman selama 24 jam. Berdasarkan grafik pada Gambar 8, dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada rendaman 24 jam lebih rendah dibandingkan dengan rendaman 30 menit. Hal ini disebabkan pada proses perendaman, air masuk ke dalam pori-pori campuran sehingga dapat mengurangi ikatan adhesi antara aspal dan agregat. Berdasarkan Gambar 4.13, menunjukkan bahwa pada persentase penambahan limbah keramik 0%-25% mengalami penurunan sebesar 96.51%-93.94%. kemudian mulai mengalami kenaikan pada penambahan persentase limbah keramik sampai kadar 75% lalu menurun lagi di 100% penambahan kadar limbah keramik. Artinya seiring penambahan limbah keramik menyebabkan perubahan terhadap nilai indeks kekuatan sisa, dikarenakan pada penambahan limbah keramik terhadap *filler* yang mampu mempengaruhi hal tersebut.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan analisa data yang sudah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan variasi limbah keramik pada nilai karakteristik volumetrik yaitu mengakibatkan nilai VIM dan VMA naik. Untuk nilai VIM mengalami kenaikan yang menyebabkan rongga pori semakin besar, sesuai syarat dari bina marga 2018 revisi 2 (2020) 3%-5%, penambahan limbah keramik yang memenuhi spesifikasi yaitu saat 0% dan 25% limbah keramik. Untuk 50%-100% penambahan limbah keramik sudah tidak memenuhi syarat walaupun mengalami kenaikan. Nilai VFB mengalami penurunan seiring penambahan limbah keramik kedalam campuran, nilai VFB yang memenuhi syarat maksimal 36.6% penambahan limbah keramik.
2. Pengaruh penambahan variasi limbah keramik terhadap nilai Karakteristik

mekanis menghasilkan nilai stabilitas dan MQ mengalami penurunan seiring penambahan limbah keramik. Nilai *flow* mengalami penurunan juga seiring penambahan limbah keramik, nilai *flow* pada penambahan kadar limbah keramik 0% - 100% masih memenuhi persyaratan 2,0 mm – 4,0 mm sesuai persyaratan dari bina marga 2018 revisi 2 (2020).

3. Proporsi maksimal limbah keramik yang bisa ditambahkan pada aspal lapis AC-BC adalah sebesar 27% limbah keramik.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan mencari bahan yang lebih rendah tingkat penyerapannya dari limbah keramik, sehingga aspal tidak banyak menyerap ke bahan agregat yang digunakan.

Daftar Pustaka

- Andi, B., & Syahlendra. (2019). Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Agregat Halus Untuk Campuran Aspal Beton Ditinjau Dari Nilai Stabilitas Marshall. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Arief, M. S. (2013). Penggunaan Bahan Pengisi (*Filler*) Serbuk Keramik, Ditinjau Dari Parameter Marshall Pada Lapis Aspal Beton (Laston). *Jurnal Rekayasa Sipil, Universitas Islam Malang*, 28-35.
- Arliningtyas, S., (2016) Analisa Kelayakan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Agregat Halus Untuk Campuran Aspal Beton Ditinjau Dari Nilai Stabilitas Marshall. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga., (2018). Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2). Kementerian PUPR.
- Fadli, F. (2021). Pengaruh Penambahan Limbah Keramik Sebagai Filler Pada Lapisan Perkerasan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). *Jurnal Karajata Engineering*, 1(1), 53-62.
- Gunarto, A., dan Cahyono, A. D. (2018). *Penelitian Menggunakan Batu Gamping Sebagai Agregat Kasar Dan Filler Pada Aspal Campuran*, 2(1), 26-34.
- Hamka, W., Fadli, F., & Ramdiana. (2017). Pengaruh Penambahan Limbah Keramik Sebagai *Filler* Pada Lapisan Perkerasan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-BC). *Jurnal Kerajata Engineering*, 1(1), 58-61.
- Irma Sepriyanna dan Fitri Khairani., (2016). “Penggunaan Limbah keramik dan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Rawa”
- Kalbu, T. I. (2020). *Lebih Dalam Mengenal Jenis Keramik Dan Seluk Beluknya*. Retrieved from *klasika kompas*: <http://klasika.kompas.id/>
- Laia, Sandro dkk. (2016). Pengaruh Penggunaan Serbuk Keramik Sebagai Tambahan Agregat Halus Dalam Campuran Aspal. *Jurnal Teknik dan Ilmu komputer, Universitas Kristen Krida Wacana*, 149-156.
- Liana, U., W., M., (2022). Karakteristik Marshall Keramik Sebagai Agregat Halus Dan Filler Pada Campuran Hot Roller Sheet (HRS). Kalimantan Timur: Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.
- Mahli, M. (2017). “Pengaruh Penggunaan Limestone Sebagai Filler Pada Asphalt Concrete-Wearing Course”. *Jurnal teknik sipil*, Vol. 2 No.2 (1-14).
- Nurzal dan Okto Siswanto., “Pengaruh Proses Wet Pressing Dan Suhu Sinter Terhadap Densitas Dan Kekerasan Vickers Pada Manufaktur Keramik Lantai” *Jurnal Teknik Mesin Vol.L, No. 2, April (2012) hal. 1-5*.

- Revisdah, R. U. (2018). Pemnfaatan Limbah Keramik Terhadap Kuat Tekan Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, Universitas Muhammdiyah Jakarta.*
- Sukirman., S. (2016). Beton Aspal Campuran Panas. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- SNI 06-2489-1991 Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall.Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 06-2440-1991 Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak Dan Aspal, Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 06-2433-2011 Metode Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal, Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 06-2434-2011 Tentang Metode Pengujian Titik Lembek Aspal Dengan Alat Cincin Dan Bola, Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 06-2432-2011 Tentang Metode Pengujian Daktalitas Bahan-bahan Aspal, Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 06-2456-2011 Tentang Metode Pengujian Penetrasi Bahan-bahan Bitumen, Jakarta, Badan Standardisasi Nasional
- SNI 06-2441-2011 Tentang Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Padat, Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1969:2008 Tentang Uji Berat Jenis Dan penyerapan Air Agregat Kasar, Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1970:2008 Tentang Uji Berat Jenis Dan penyerapan Air Agregat Halus, Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2439-1991 Tentang Metode Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal.Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.